

Olli Uhlbeck

KAUKOJÄÄHDYTYKSEN TUOTANTOSTRATEGIA

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Diplomityö
Toukokuu 2019

TIIVISTELMÄ

Olli Uhlbeck: Kaukojäähdytyksen tuotantostrategia
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Johtamisen ja tietotekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma
Elokuu 2019

Jäähdytyksen tarve on kasvanut tasaisesti läpi 2000- ja 2010-luvun. Energiayhtiöiden vastaus kasvaneeseen jäähdytyksen tarpeeseen on kaukojäähdytys. Tämän diplomityön tarkoituksena oli tarkastella kaukojäähdytyksen markkinoita ja asiakkaita, tuotantovaihtoehtojen talousvaikutuksia, sekä yrityksen jäähdytysliiketoimintaa ja havaintojen perusteella muodostaa uusi tuotantostrategia. Työssä pyrittiin löytämään jäähdytysmarkkinoilla vahvimmin vaikuttavia strategisia ominaisuuksia ja hyödyntämään niitä tuotantostrategian muodostamiseen. Tarkoituksena oli siis arvioida yrityksen suorituskykyä tarkasteluissa havaittujen strategisten ominaisuuksien perusteella. Osana työtä myös tarkasteltiin pohjavesienergian hyödyntämisen mahdollisuuksia.

Diplomityön teoriaosuudessa tutkittiin tuotantostrategiaan liittyviä asioita sekä eri tuotantovaihtoehtojen peruseräaatteita. Energiantuotannon lisäksi teoriaosuudessa käsiteltiin myös jäähdytysenergianjakelun vaihtoehtoja. Empiirisessä osiossa suoritettiin asiakashaastatteluja puhelinhaastattelujen muodossa, vertailtiin tuotantovaihtojen ominaisuuksia sekä suoritettiin erilaisia taloustarkasteluja liittyen jäähdytyksen tuotantoon.

Kaukojäähdytyksen tärkeimmät strategiset ominaisuudet onnistuttiin määrittelemään. Niihin kuuluivat saatavuus, luotettavuus, investointikustannukset, hinta sekä markkinointi. Työn lopuosiossa arvioitiin strategisten ominaisuuksien, taloustarkastelujen sekä muiden työssä havaittujen asioiden pohjalta yrityksen toimintaa ja kehitettiin yrityksen kilpailukykyä parantavia strategisia kehitysehdotuksia.

Avainsanat: kaukojäähdytys, tuotantostrategia, jäähdytysenergian tuotanto

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Olli Uhlbeck: Operations strategy for district cooling
Master of Science thesis
Tampere University
Master's Degree Programme in Management and Information Technology
August 2019

The need to cool down properties has risen steadily throughout the 21st century. To answer this need energy companies have been offering district cooling in a widening scale. The purpose of this thesis was to examine the cooling market, different ways of producing district cooling and use the observations that come up to form an operations strategy. The aim of examining the market was to point out those strategic attributes that affect the most in the cooling market. These strategic attributes were the basis of developing the future strategic improvements. A part of this thesis was to solve out if using geoenery of groundwater was possible in the operating area.

In the theoretical part of this thesis the operations strategy was examined along with different alternatives for producing district cooling and its distribution methods. To gain knowledge of the market and customers interviews were performed in the empirical part of the thesis. Empirical part also contained comparing different producing methods and performing economic comparisons between them.

The searched strategic attributes were defined. They were availability, dependability, investment costs, price and marketing. These attributes were then used to evaluate the companys own performance regarding to the attributes. In the last part of the thesis all the information presented was used to form strategic suggestions that improve the strategic competitiveness of the company.

Keywords: District cooling, operations strategy, cooling energy production

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Kiitän Pori Energia Oy:tä diplomityöni mahdollistamisesta. Erityiskiitokset haluan osoittaa Timo Mäelle diplomityöprosessin käynnistämisestä sekä Tiia Niemelle yrityksen osalta työni valvojana toimisesta. Haluan myös kiittää kaikkia sekä tämän työn parissa että aikaisempien kesäharjoittelujen aikana kanssani työskennelleitä henkilöitä avusta ja viihtyisän työympäristön tarjoamisesta.

Yliopiston puolelta haluan kiittää erityisesti työn ohjannutta ja tarkastanutta Rainer Breitea, jonka palautteiden avulla kirjallinen raportti saatiin hiottua lopulliseen muotoonsa. Kiitokset lähtevät myös työni toiselle tarkastajalle, professori Marko Seppäselle.

Porissa 05.08.2019

Olli Uhlbeck

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Kaukojäähdytys	1
1.2	Diplomityön tavoitteet ja rajaus	2
2.	TUOTANTOSTRATEGIA	4
2.1	Tuotantostrategiset päätökset	4
2.2	Tilauksia voittavat ja toimintaa rajoittavat tekijät	5
2.3	Tuotantostrategian kehittäminen	6
3.	TUOTANTOVAIHTOEHDOT	8
3.1	Kompressorijäähdytys	8
3.2	Vapaajäähdytys	9
3.3	Absorptiokone	10
3.4	Adsorptiojäähdytys	12
3.5	Pohjavesijäähdytys	12
3.6	Lämpöpumppu	12
3.7	Kylmäakku	13
3.8	Jakeluverkosto	14
4.	AINEISTO JA MENETELMÄT	16
4.1	Nykytilanne	16
4.2	Kaukojäähdytyspotentiaali	19
4.3	Markkina-analyysi	19
4.4	Pohjavesijäähdytyskartoituksen lähtökohdat	20
5.	TULOKSET JA ANALYYSI	24
5.1	Porin kaukojäähdytyspotentiaali	24
5.2	Kylmäkoneiden ominaisuudet	26
5.3	Kustannukset	29
5.3.1	Keskitetty tuotanto	29
5.3.2	Kiinteistökohtaiset ratkaisut	32
5.4	Tuotantolaitoksen mahdolliset sijainnit	34
5.5	Valtakunnallisen kyselyn tulokset	37
5.6	Isännöitsijäkyselyn tulokset	41
5.7	Kyselyjen vertailu	43
5.8	Pohjavesijäähdytyksen hyödynnettävyys	45
6.	TUOTANTOSTRATEGIAN MUODOSTAMINEN	49
6.1	Markkinoiden valinta	49
6.2	Tilauksia voittavat ja toimintaa rajoittavat tekijät	49
6.3	Nykyisen suoritustason arviointi	50
6.4	Investoinnit ja niiden merkitys toiminnan kehittämisen kannalta	51
7.	YHTEENVETO	54
	LÄHTEET	56

LIITE A: ISÄNNÖITSIJÄKYSELY

LIITE B: VESINÄYTTEIDEN TUTKIMUSTULOKSET

LYHENTEET JA MERKINNÄT

akviferi	pohjavesimuodostuma
ATES-järjestelmä	Aquifer thermal energy storage eli pohjavesivarantoja hyödyntävä jäähdytyksentuottojärjestelmä
COP	Coefficient of performance, kuvaa hyötysuhdetta, jolla primäärienergia muunnetaan jäähdytysenergiaksi
HJK	huippujäähdytyskeskus
LPJ-keskus	lämpöpumppujäähdytyskeskus
kW	kilowatti, tehon mittayksikkö, 1000 wattia
MW	megawatti, tehon mittayksikkö, 1000 kilowattia
kWh	kilowattitunti, energian mittayksikkö, 1000 wattituntia
MWh	megawattitunti, energian mittayksikkö, 1000 kilowattituntia

1. JOHDANTO

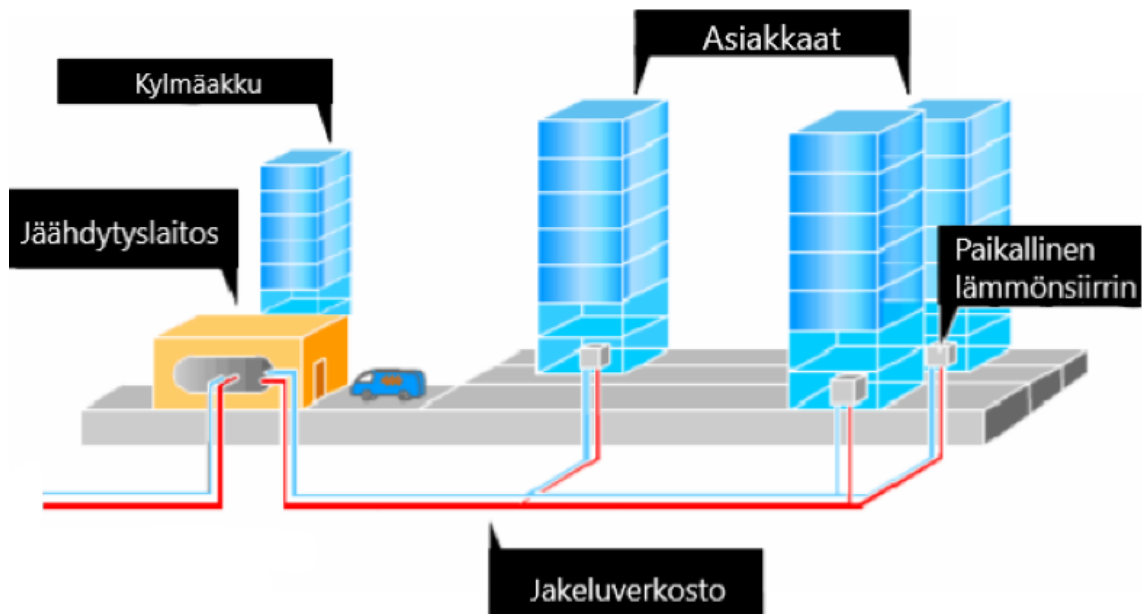
Rakennusten käyttäjien vaatimukset lämpötilan ja ilmanlaadun osalta ovat lisääntyneet suhteellisen tasaisesti 2000-luvun alusta asti (Airaksinen et al., 2015). Toimistotyöntekijät kaipaavat viileitä työskentelytiloja, asunnon omistajat haluavat lisää mahdollisuuksia säädellä oman asuntonsa lämpötilaa ja koululaisille halutaan luoda oppimisen kannalta optimaaliset olosuhteet. Tarve jäähdytykselle käyttäjien keskuudessa on kokonaisuutena kasvanut huomattavasti.

Suomen rakennuskanta kasvaa tasaisella tahdilla. Rakennusten energiatehokkuuteen liittyvien vaatimusten tiukentuminen sekä ilmastonmuutoksesta johtuva ulkolämpötilan nousu, etenkin kuumemmat kesät, tulevat lisäämään jäähdytyksen kysyntää Suomessakin (Energiateollisuus ry, 2016).

Kaukojäähdytys on energiayhtiöiden tarjoama ratkaisu kasvaneisiin jäähdytystarpeisiin. Kaukojäähdytyksen suurimmat asiakaskunnat ovat kerrostalot, toimistot ja liikekiinteistöt. Vuonna 2016 kaukojäähdytystä myytiin 205 000 MWh, kun 2000-luvun alkupuolella sen myynti oli alle 5000 MWh. Kaukojäähdytyksen myynti on kasvanut yli 60 prosenttia viimeisten viiden vuoden aikana (Energiateollisuus ry, 2017). Jäähdytysmyynnin on enustettu kasvavan noin 20 GWh vuodessa noin 15 vuoden ajan, joten kaukojäähdytyksen osuuden tasainen kasvu on myös hyvin realistinen skenaario (Airaksinen et al., 2015).

1.1 Kaukojäähdytys

Kaukojäähdytys on toimintaperiaatteeltaan kaukolämmityksen tapainen, mutta sen tarkoitus on päinvastainen, eli siirtää ylimääräinen lämpö pois asiakkaan kiinteistöstä. Ylimääräinen lämpöenergia sidotaan jäähdytysveteen, joka tulee useimmiten keskitetyltä kylmälaitokselta energiayhtiön jakeluverkostoa pitkin (Skagestad & Mildenstein, 2002). Kiinteistöihin asennetaan kaukojäähdytystä varten lämmönsiirrin, joka kierrättää jäähdytysveden kiinteistön sisällä ja palauttaa sen avulla ylimääräisen lämmön energiayhtiön verkostossa kulkevaan veteen (Rakkolainen, 2018b). Kuvassa 1 on havainnekuva kaukojäähdytysjärjestelmästä (Dalín & Rubénhag, 2006). Kuvassa näkyvä lämpöakku on kaukojäähdytysjärjestelmissä vapaaehtoinen ratkaisu.



Kuva 1. Kaukojäähdytysjärjestelmä mukaillen Dalin & Rubenhag:ia (Dalin & Rubenhag, 2006).

Kaukojäähdytys pyritään toteuttamaan suurimmilta osin keskitettynä ratkaisuna, eli jäähdytysenergia tuotetaan tietyssä sijainnissa, josta se ohjataan jakeluverkostoa pitkin asiakkaiden kiinteistöille. Keskitetyt ratkaisut mahdollistavat paremman energiatehokkuuden, ympäristöystävällisyyden ja kilpailukykyisemmät hinnat, kuin rakennuskohtaiset jäähdytysratkaisut (Rakkolainen, 2018b). Keskitämisen tuomat edut mahdollistavat kaukojäähdytyksen tehokkaan tuotannon niin sanotuilla kulutusintensiivisillä alueilla. Tällaisia alueita ovat esimerkiksi kaupunkien keskustat ja suuria kuluttajia sisältävät alueet. Haja-asutusalueilla ja yksittäisissä asuinrakennuksissa kaukojäähdytyksen hyödyntäminen ei ole kovinkaan tehokasta (Laitinen et al., 2016).

Kiinteistöt hyötyvät kaukojäähdytyksestä muutenkin, kuin pelkän jäähdytyksen muodossa. Kaukojäähdytyksen on todettu olevan hiljainen ja tärinää aiheuttamaton ratkaisu. Tämän lisäksi kompakti siirrinpaketti säästää tilaa muulle toiminnalle, eikä julkisivun kannalta epäedullisia lauhdutusyksiköitä lähtökohtaisesti tarvita (Rakkolainen, 2018b).

1.2 Diplomityön tavoitteet ja rajaus

Tämän diplomityön tavoitteena on muodostaa Pori Energia Oy:lle kaukojäähdytyksen tuotantostrategia. Tarkoituksena on selvittää Pori Energia Oy:n liiketoimintastrategian mukainen tapa edetä kaukojäähdytyksen osalta Porin keskustan alueella. Tilaajaa kiinnostavat erilaisten tuotantoratkaisujen tekniset, strategiset ja taloudelliset ominaisuudet, joten työn päätutkimuskysymys koskeekin juuri jäähdytysenergian tuotantotapaan liittyviä ominaisuuksia:

- Mitkä ovat markkinoiden asettamat kaukojäähdytyksen tuotantoon liittyvät keskeiset strategiset ominaisuudet?

Tärkeimpien ominaisuuksien lisäksi on selvitettävä kohdealueen arvioitu asiakaspotentiaali. Arvioidun asiakaspotentiaalin avulla voidaan arvioida tarvittavaa kapasiteettia ja tarkastella tuotantoratkaisujen kykyä vastata siihen.

Päätutkimuskysymyksestä saatavia strategisia ominaisuuksia hyödynnetään eri tuotantotapojen arvosteluun. Tavoitteena on löytää tuotantotapa, joka vastaa markkinoiden tärkeimpiin strategisiin ominaisuuksiin sekä yrityksen oman strategian asettamiin vaatimuksiin. Tuotantotapojen kohdalla on siis tarkasteltava vähintään seuraavien yrityksen asettaman yleisen liiketoimintastrategian mukaisia ominaisuuksia:

- Mitkä ovat vaihtoehtoisten tuotantomuotojen kustannukset?
- Mihin eri tuotantoteknologioita hyödyntävät ratkaisut voidaan sijoittaa?
- Mitä eri tuotantoratkaisut vaativat jakeluverkostolta?
- Ovatko tuotantoratkaisut kestävä kehityksen mukaisia?

Työssä määriteltävä tuotantostrategia rajataan koskemaan vain Porin keskustan aluetta ja kaukojäähdytyksen runkoverkkoon liittyviä tuotannollisia ratkaisuja. Keskustankin ulkopuolella saattaa olla sijainteja, joissa kaukojäähdytystä olisi kannattavaa tarjota, mutta tämä työ rajataan koskemaan vain keskustan aluetta ja sen jakeluverkkoon liittyviä ratkaisuja.

Osana diplomityötä toteutetaan pohjavesijäähdytykseen ja -varantoihin liittyviä tutkimuksia. Selvityksien tarkoituksena on muodostaa kuva siitä, onko pohjavesivarantojen hyödyntäminen kaukojäähdytysenergian tuotantoon tehokkaasti mahdollista Porin keskustan alueella.

2. TUOTANTOSTRATEGIA

Strategia on työkalu, jolla teollisuusyritykset voivat suunnata oman toimintansa kehityksen kohti valittuja tavoitteita. Strategian tarkoituksena on saavuttaa paras mahdollinen kilpailukyky yrityksen toiminta-alueilla. Valinnat, jotka liittyvät strategiaan vaikuttavat pitkällä aikavälillä, kuukausien tai vuosienkin päähän. Alasta riippumatta päätökset vaikuttavat aina pidemmällä tähtäimellä, kuin operatiiviset päätökset (Johnson et al., 2014). Heikkilän ja Ketokiven mukaan päätökset ja valinnat ovat strategisia ainoastaan, kun suoritetaan valintoja kilpailukykyyn merkittävästi vaikuttavien vaihtoehtojen välillä (Heikkilä & Ketokivi, 2013).

Slack & Lewis (2017) määrittelevät tuotantostrategian olevan sarja päätöksiä, jotka muokkaavat toimintojen pitkän aikavälin valmiuksia ja arvonluontia kokonaistrategian kannalta. Tuotantostrategiaa koskevat päätökset pyrkivät sovittamaan markkinoiden tarpeet ja toimintojen resurssit vastaamaan toisiaan (Slack & Lewis, 2017). Hill & Hill (2017) kirjoittavat kirjassaan tuotantostrategian määräävään mitä tehdään ja miten tehdään. Heidän mukaansa tuotantostrategian toteutus määrää kuinka hyvin yritys pystyy vaikuttamaan omaan markkina-asemaansa (Hill & Hill, 2017). Tuotantostrategian ja yleisen strategian on oltava linjassa, jotta yritys pystyy luomaan tasalaatuisen imagon, joka vaikuttaa asiakkaiden ostopäätöksiin (Johnson et al., 2014).

2.1 Tuotantostrategiset päätökset

Tuotantostrategiaan liittyvät päätökset voidaan jaotella toimintojen eri tasoihin liittyviin päätöksiin sekä sisäisiin ja ulkoisiin päätöksiin. Päätökset ovat erilaisista aihepiireistä ja vaihtelevilta osa-alueilta, joten päätöksiä tekeminen vaatii laajemman kokonaiskuvan tarkastelua ja ymmärtämistä. Parhaita strategioihin liittyviä päätöksiä ovat Heikkilän & Ketokiven mukaan ne, jotka ilmaisevat tehdyn valinnan suoraan, perustellen ja joita tehtäessä on otettu huomioon myös kilpailijoiden toiminta ja sen kehitys (Heikkilä & Ketokivi, 2013).

Tuotantostrategisten päätösten tarkoituksena on ohjata päivittäin suoritettavia toimintoja. Tavoitteena on saada tuotantostrategia toimimaan liiketoimintastrategian arvojen mukaisesti, samalla edistään tuotannollista kilpailukykyä. Logistiikan Maailman tuotantostrategiaa koskevassa kirjoituksessa tärkeimmiksi tuotantostrategisiksi päätöksiksi määritellään neljä osa-aluetta (Logistiikan Maailma, 2018):

- Tuotantotavan valinnat
- Tuotantoverkostoon ja tehtaiden roolitukseen liittyvät päätökset
- Tuotantokapasiteetin määrittely
- Yrityksen sijainti arvoketjussa

Tuotantotapaan liittyviä kysymyksiä ovat esimerkiksi tuotantoteknologioiden valinnat sekä kehitystoiminnan määrittely. Tuotantoverkostoa ja tehtaiden roolitusta koskevat päätökset liittyvät tuotannon hajauttamiseen, keskittämiseen ja erillisten tehtaiden yksityiskohtaisemman tarkoituksen määrittelyyn. Tuotantokapasiteetin osalta valinnat liikkuvat kasvattamisen, vähentämisen ja sijainnin ympärillä. Arvoketjua tarkastellessa suoritetaan yleensä päätökset itse valmistamisesta ja ulkoistamisista (Logistiikan Maailma, 2018).

2.2 Tilauksia voittavat ja toimintaa rajoittavat tekijät

Onnistuneen tuotantostrategian taustalla on onnistunut markkina-analyysi. Erityisen tärkeää markkinoilta on tunnistaa niin kutsutut order winners & order qualifiers -ominaisuudet. Order qualifier on ominaisuus, jota ilman yritys ei pysty toimimaan halutuilla markkinoilla eli toimintaa rajoittava ominaisuus. Order winner, eli tilauksia voittava ominaisuus, on yrityksen tuotteen ominaisuus, joka saa tuotteen erottumaan positiivisella tavalla niin, että asiakas tilaa yrityksen tuotteen kaiken tarjonnan seasta. Näiden ominaisuuksien tunnistamisen lisäksi on tärkeää huomata, että ne vaihtelevat markkinakohtaisesti ajan myötä. Näihin muutoksiin vaikuttavat muun muassa markkinoiden yleinen toimintaperiaate (pull- vai push-markkinat) sekä suunniteltujen toimintojen, omien sekä asiakkaan, aikataulukastelujen pituudet (Hill & Hill, 2017).

Hendry (2010) kirjoittaa artikkelissaan, että Hill & Hill'in mukaisesta tilauksia voittavia ja toimintaa rajoittavia tekijöitä tutkivasta mallista löytyy vielä joitakin kiistanalaisia seikkoja, kuten kustannuksiin ja hintaan suhtautuminen. Kokonaisuutena Hendry pitää kritiikistä huolimatta Hill & Hill'in mallia todenmukaista kuvaa luovana tarkastelumallina (Hendry, 2010).

Markkinoita analysoimalla pyritään löytämään ominaisuuksia, joita palveluita kuluttavat asiakkaat pitävät suuressa arvossa. Kun lähdetään tutkimaan markkinoita tilauksia voittavien ja toimintaa rajoittavien tekijöiden kannalta, tulee Hill & Hill'in mukaan ottaa huomioon seuraavia seikkoja (Hill & Hill, 2017):

- Rajoittavat tekijät eivät ole alempiarvoisia, kuin tilauksia voittavat, vaan eri tavalla vaikuttavia.
- Tekijät riippuvat täysin markkinoista ja aikavälistä, jota tarkastellaan.
- Suhtautumisen tekijöihin tulee muuttua sen mukaan, mikä yrityksen suhde markkinoihin on.
- Kaikkia tekijöitä ei voi luokitella kumpaankaan edellä mainittuun kategoriaan, joillakin ominaisuuksilla ei ole juurikaan merkitystä ostopäätöksiä tehdessä.

Tavanomaisesti tuotantoa ja sen prosesseja tutkitaan viiden eri kilpailullisen tekijän kautta. Perinteisemmin tutkittuja kilpailutekijöitä ovat kustannukset, laatu, luotettavuus, nopeus ja joustavuus. Näiden väliltä on pyritty löytämään normaalisti se kilpailutekijä,

joka vaikuttaa asiakkaan ostopäätökseen vahvimmin. Hill & Hill:in malli eroaa tämän osalta siten, että Hill & Hill:in viitekehys erottelee kilpailutekijät vielä selkeämmin tilauksia voittaviin ja toimintaa rajoittaviin tekijöihin. Boaden & Spring (1997) pohtivat artikkelissaan tämän erottelun merkitystä. Heidän mielestään erottelu ei välttämättä ole tarpeellista, mutta toteavat, että Hill & Hill:in viitekehyksessä on kuitenkin selkeitä etuja useisiin muihin viitekehyksiin verrattuna (Spring & Boaden, 1997).

2.3 Tuotantostrategian kehittäminen

Tuotantostrategian kehittämisen on perustuttava faktoihin. Tuotantostrategiaa kehitettäessä on otettava huomioon mitä tuotannossa tapahtuu ja mitä siellä tulisi tapahtua. Tuotannon tilannetta ja markkinoiden tulevaisuutta on pyrittävä tutkimaan objektiivisesti. Vain objektiivisen tarkastelun avulla saavutetaan tilanne, jossa toimintojen analysointi ja kehittäminen voidaan suorittaa tehokkaasti (Heikkilä & Ketokivi, 2013).

Hill & Hill (2017) ovat kehittäneet viisivaiheisen mallinnuksen tuotantostrategian kehittämiseksi. Heidän viitekehyksensä perustuu markkinoiden analysoimiseen ja sitä kautta oman toiminnan arviointiin ja ratkaisujen löytämiseen. Nykyään markkinat ovat hyvin erilaisia keskenään ja niiden sisällä vaatimukset saattavat vaihdella yllättävän nopealla tahdilla, joten markkina-analyysien suorittaminen ja niissä onnistuminen saattavat tuoda huomattavaa kilpailuetua (Hill & Hill, 2017). Taulukossa 1 on Hill & Hill:in tuotantostrategian kehittämisen viitekehys vaihe vaiheelta.

Taulukko 1. *Tuotantostrategian kehittämisen vaiheet (Hill & Hill, 2017).*

Markkinoiden valinta	Ominaisuuksien määrittelyminen	Tunnista oleelliset strategiset toimenpiteet	Arvioi nykyistä suoritustasoa ja tunnista kehityskohteita	Arvota investoinnit ja parannukset
Valitse nykyiset ja tulevat markkinat, joissa aiotaan kilpailla	Määrittele tilauksia voittavat ja toimintaa rajoittavat tekijät valituille markkinoille	Tunnista tärkeimmät rajoitteet ja voittavat ominaisuudet ja muunna ne strategisiksi tehtäviksi	Arvioi kuinka hyvin tuotanto tällä hetkellä tukee näitä strategisia tehtäviä ja tunnista kehitystä kaipaavia osa-alueita	Määrittele investointien ja parannusten tärkeysjärjestys toiminnan kehittämisen kannalta

Hill & Hill (2017) puhuvat kirjassaan nykypäivän markkinoista ja niiden luonteesta (Hill & Hill, 2017). Heidän mielestään markkinoiden ymmärtämisen esteenä on usein samoja asioita, kuten säännöllisyyden ja kaavamaisuuden vaihtelu ja sen ymmärtämättömyys, itsestään aktiivisimpien asiakkaiden käyttäytymisen tarkkailu ja mielipiteiden vahva vaikuttaminen. Heidän mielestään usein vastaan tulevat toteamat strategioissa, kuten ”asiakas on aina oikeassa” tarkoittavat hyvää, mutta eivät aivan suoriudu markkinoihin sopeutumisessa. Tällaiset geneeriset lausahdukset tarjoavat usein ajatuksen siitä, mitä halutaan

tehdä, mutta eivät vaihtoehtoa siihen, miten asia tullaan toteuttamaan. Tuotantoon liittyvän strategian pohjaksi he ohjaavat etsimään asiakkaita, joiden tilauksia voittavat ja toimintaa rajoittavat tekijät sekä niiden painotukset ovat samanlaisia. Kaikki asiakkaat, jotka kuuluvat tähän ryhmään ja arvottavat tarjotut palvelut ja tuotteet samojen arvojen mukaan muodostavat yhtenäisen markkinan.

Hill & Hill:in (2017) strategian muodostaminen perustuu vahvasti tilauksia voittaviin ja toimintaa rajoittaviin tekijöihin. Nämä tekijät ovat jokaisella markkinalla omansa ja vaihtelevat nykymarkkinoilla yhä nopeammin. Tekijöitä tutkiessa on ymmärrettävä, että jokainen tekijä ei ole saman arvoinen vaan kaikkien ominaisuuksien vaikutus markkinoihin on tarkasteltava huolella (Hill & Hill, 2017).

3. TUOTANTOVAIHTOEHDOT

Tässä luvussa esitellään erilaisia kaukojäähdytyksen tuotantomuotoja. Tarkoituksena on muodostaa karkea kokonaiskuva vaihtoehtoisista tuotantomenetelmistä ja niiden toimintaperiaatteista.

Kaukojäähdytyksen tuotantomuotojen lisäksi luvun lopussa tarkastellaan kaukojäähdytyksen jakeluverkostoa. Tarkastelulla pyritään muodostamaan lukijalle pintapuolinen yleiskuva jakeluverkostoon ja -tapoihin liittyvistä vaihtoehdoista.

3.1 Kompressorijäähdytys

Kompressorijäähdytys on suosittu kaukojäähdytyksen tuotantotapa. Varsinkin aloittelevat kaukojäähdytysyritykset hankkivat usein aluksi kompressoripohjaisia jäähdytysratkaisuja. Kylmälaitoksessa kompressorin rooli on höyrystimessä muodostuneen kylmäainehöyryn puristaminen ja sen lämpötilan nostaminen riittävän korkeaan kyllästyslämpötilaan, että lauhtumisprosessi käynnistyy (Nydal & Muuronen, 2008).

Kylmähöyryprosessi toimii käänteisellä Clausius-Rankine-prosessilla. Ideana on höyrystää kylmäaine matalassa paineessa matalalla lämpötilatasolla. Tämän jälkeen prosessiin tuodaan työtä, yleensä sähkökäyttöinen kompressor puristaa höyryn paineen korkeaksi, jolloin lämpötila nousee samalla. Höyry lauhdutetaan ja näin saadaan lämpöä lauhdutuspiiriin. Tämän jälkeen kylmäaine syötetään höyrystimelle paisuntaventtiilin läpi, ja olosuhteet palautetaan lähtötasolle. Hyötysuhdetta laskevia häviöitä syntyy, kun lauhdetta höyrystyy jo paisuntaventtiilissä (Kuivala & Lehdonvirta, 2011).

VTT on suorittanut selvityksen jäähdytyksessä käytettävistä teknologioista. Selvityksessä todetaan, että tarjolla olevista kompressoreista tulevaisuudessa käytetään lähinnä mäntä-, ruuvi- ja turbokompressoreja. Kompressorien laitekokojen ennustetaan myöskin kasvavan (Laitinen et al., 2016).

Mäntäkompressor on kylmätekniikassa yleisimmin käytetty kompressorityyppi. Mäntäkompressor on käytetyin kompressorityyppi alle 1,5 MW koneissa ja kodin kylmälaitteissa (Kuivala & Lehdonvirta, 2011).

Mäntäkompressorin toiminta perustuu nimen mukaisesti männän edestakaisen liikkeen aiheuttamaan puristukseen, jota käytetään kylmäaineen nesteeksi puristamiseen. Ensimmäisessä vaiheessa mäntä liikkuu pois päin sylinterin kannesta synnyttäen alipaineen, joka imee höyryä sylinteriin. Männän käännettyä suuntansa, höyryn virtaus sylinteriin päättyy ja imuventtiilit sulkeutuvat. Männän aiheuttama puristus puristaa höyryä kokoon ja nos-

taa painetta. Tarvittavaan paineeseen saavuttaessa paineventtiilit aukeavat ja höyry poistuu sylinteristä. Tämän jälkeen mäntä lähtee taas toiseen suuntaan ja paine laskee (Aittomäki & Aalto, 2012).

Ruuvikompressoreita on onnistuneesti käytetty kylmätekniikan sovelluksissa, kuten lämpöpumpuissa ja ilmastointilaitoksissa. Ruuvikompressoripohjaiset jäähdytysratkaisut ovat usein pienikokoisia ja niitä suunniteltaessa liikkuvien osien määrä pyritään pitämään mahdollisimman alhaisena (Nydal & Muuronen, 2008).

Ruuvikompressoreja käytetään alle 10 MW ratkaisuisissa. Laitteet toimivat siten, että ruuvikompressorin puristaa kylmäaineen korkeaan paineeseen. Ruuvikompressoreissa puristaminen toimii hyvällä hyötysuhteella (Kuivala & Lehdonvirta, 2011). Ruuvikompressoreissa öljyä ruiskutetaan komponentteihin niin paljon, että se toimii jäähdyttävänä elementtinä prosessille, mikä on suuri hyöty etenkin, jos kyseessä on ammoniakikäyttöinen laite (Aittomäki & Aalto, 2012).

Edellä esitellyt kompressorityypit toimivat kaikki staattisesti puristavalla metodilla. Turbokompressorin on toimintaperiaatteeltaan kineettinen kompressorin, eli paineen nousu aiheutetaan antamalla kaasumassalle liike-energiaa. (Aittomäki & Aalto, 2012).

Turbokompressorit ovat tehokkaimmillaan vasta 2000 kW ja sitä suuritehoisimmissa sovelluksissa. Tästä syystä turbokompressoreja käytetäänkin usein vain keski- ja huippukuorman tuotannossa (Kuivala, 2012).

VTT:n selvityksessä (2016) jäähdytysteknologioista turbokompressorien osalta todetaan huomattavaa kehitystä. Niitä on saatavilla varustettuna taajuusmuuttajilla, jotka lisäävät kompressoreiden kustannustehokkuutta. Tämän lisäksi turbokompressoreihin on kehitetty magneettinen laakerointi, mikä mahdollistaa erittäin suuret nopeudet, hyvän luotettavuuden sekä energiatehokkuuden parantumisen (Laitinen et al., 2016).

3.2 Vapaa jäähdytys

Gorse, Johnston & Pritchard määrittelevät vapaa jäähdytyksen toiminnaksi, jossa kylmää ulkoilmaa hyödynnetään rakennusten, laitteiden ja ihmisten jäähdyttämiseksi (Gorse et al., 2013). Vapaa jäähdytystä hyödynnetään suurten koneellisten jäähdytysratkaisujen yhteydessä käytännössä niin paljon kuin on mahdollista (Laitinen et al., 2016).

Ympäristöministeriön julkaisema opas kuitenkin osoittaa vapaa jäähdytyksen olevan mahdollista myös suoralla yhteydellä maaperään tai vesistöihin. Vapaa jäähdytys toteutetaan jäähdyttämällä kylmäainetta valitulla tavalla (ulkoilma, maaperä tai vesistöt) sekä varastoimalla kylmää varaajaan tai kiinteistön rakenteisiin. Kylmän varaamisella on vapaa jäähdytyksen tehoa parantava vaikutus (Ympäristöministeriö, 2011).

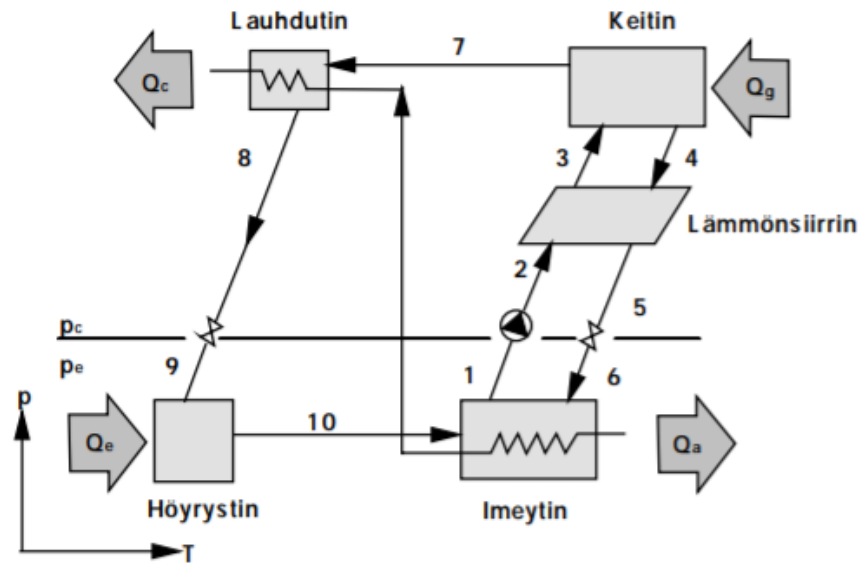
3.3 Absorptiokone

Absorptiokoneiden avulla voidaan tuottaa teollisuuden tai energiantuotannon yhteydessä syntyvästä hukkalämmöstä jäähdytysenergiaa. Tyypillisimpiä absorptiokoneen voimalllähteitä ovat kaukolämpö sekä erilaisilla lämmöntalteenottojärjestelmillä kerätty lämpö (Al-zubaydi A. Y, 2011).

Absorptiojäähdytys luokitellaan suoraksi tai epäsuoraksi riippuen käytetystä energialähteestä. Keskitettyjen kaukojäähdytysratkaisujen yhteydessä käytetään lähes aina epäsuoraksi luokiteltuja absorptiojäähdyttimiä. Absorptiojäähdyttimet kuluttavat vähän sähköä ja käyttävät yleensä kylmäainepareja, kuten litiumbromidi-vesi tai ammoniakki-vesi, jotka eivät aiheuta ympäristölle suurta haittaa (Koljonen & Sipilä, 1998). Riippuen keittimien ja lauhduttimien määrästä laitteet ovat useimmiten joko single-effect tai double-effect -jäähdyttimiä (Aittomäki & Aalto, 2012).

Absorptiojäähdytyksen toimintaperiaatteena on imeytymässä tapahtuvan kylmäaineen absorboitumisen yhteydessä tapahtuvan lämmönluovutuksen hyödyntäminen. Lämmönluovutuksen mahdollistaa samansuuruinen höyrynpaine kahdessa eri lämpötilassa (Kuivala & Lehdonvirta, 2011).

Absorptioprosessissa kylmäaine luovuttaa imeytymässä lämpöä yleensä jäähdytysveteen samalla kun se absorboituu absorptioaineeseen. Höyrynpaineiden ansiosta matalasta lämpötilasta tuleva höyry saadaan lauhdutettua, kun se saapuu samanpaineiseen tilaan, jossa on korkeampi lämpötila. Kylmäaineen ja absorptioaineen liuos johdetaan keittimeen, jossa kylmäaine höyrystetään irti absorptioaineesta ja väkevöitynyt liuos palautetaan imeyttimelle kuristusventtiilin läpi. Höyrystetty kylmäaine ohjataan lauhduttimen ja paisuntaventtiilin kautta höyrystimelle. Kaukojäähdytystä tuotettaessa asiakkailta palannut vesi tuodaan höyrystimelle, jolloin vesi jäähtyy uudestaan samalla höyrystäen kylmäaineen (Kuivala & Lehdonvirta, 2011). Kuvassa 2 on hahmoteltuna absorptiolämpöpumpun toimintaperiaate (Koljonen & Sipilä, 1998). Kuvassa olevat p_c ja p_e kuvaavat prosessin hyödyntämiä ylempää (p_c) ja alempaa (p_e) painetasoa. Q_e kuvaa höyrystimelle ja Q_g keittimelle tuotua lämpöenergiaa. Q_c ja Q_a kuvaavat järjestelmistä pois lähteviä energioita.



Kuva 2. Single-effect absorptiojäähdyttimen toimintaperiaate (Koljonen & Sipilä, 1998)

Absorptiolaitteet vaativat tehokkaasti toimiakseen käyttövoimana hyödynnettävältä lämmöltä vähintään 70 °C lämpötilaa. Absorptiolaitteita löytyy 10-7000 kW tehoväliltä (Laitinen et al., 2016). Yksitehoisina, eli matalinta lämpötilaa käyttävinä koneita löytyy noin 1500 kW asti (Al-zubaydi A. Y, 2011).

Absorptiolaitteiden toimintaa ja tehokkuutta määrittelevät erinäiset lämpötilaan, paineeseen ja konsentraatioihin liittyvät rajoitukset, joihin valitun työaineparin valinta (Koskelainen et al., 2006). Absorptiolaitteiden aineparin valinta vaikuttaa siis merkittävästi käyttövoimalle asetettaviin vaatimuksiin. Yleisimmät aineparit absorptioprosessissa ovat ammoniakki-vesi, sekä vesi-litiumbromidi. Ammoniakki toimii omassa parissaan kylmäaineena, kun taas litiumbromidin kanssa kylmäaineena toimii vesi (Aittomäki & Aalto, 2012).

Vesi-litiumbromidia aineparina käyttävät järjestelmät vaativat vähintään 70 °C lämpötilaa, jonka jälkeen prosessin kylmäkerroin laskee hyvin nopeasti. Vesi-litiumbromidin kylmäkerroin vaihtelee 0,7 ja 1,5 välillä, riippuen kuinka monivaiheisena prosessi toteutetaan (Laitinen et al., 2016).

Ammoniakin ja veden käyttäminen aineparina vaatii useimmiten yli 100 °C lämpötilan. Suuresta lämpötilavaatimuksestaan huolimatta sen sovelluksien kylmäkerroin on yleensä välillä 0,60 - 0,65. Joissakin sovelluksissa voidaan hyödyntää natriumhydroksidin lisäämistä, jolloin hyötysuhde paranee keskimäärin 20 prosenttiyksikön verran (Laitinen et al., 2016).

3.4 Adsorptiojäähdytys

Adsorptiokone on varastoiva lämpöpumppu, joka käyttää absorptiokoneen tavoin energianlähteenään lämpöä. Suurin ero prosessien kesken on imeytysaineen kohdalla. Absorptioprosessissa vesihöyry imeytetään liuokseen ja adsorptioprosessissa kiinteään materiaaliin. Adsorptioprosessin imeytysmateriaalina toimii useimmiten silikageeli (Koskelainen et al., 2006).

Adsorptio ja absorptio perustuvat molemmat nimiensä mukaisesti sorptioprosessiin, eli prosessiin, jossa hyödynnetään kaasumaisen kylmäaineen ominaisuuksia. Adsorptiossa kylmäaine sitoutetaan kiinteään aineeseen ja absorptiossa kylmäaine liukenee nestemäiseen aineeseen. Kylmäkertoimiltaan prosessit ovat lähellä toisiaan, adsorptio on kuitenkin absorptiota tehottomampi prosessi, mutta adsorption etuna ovat matalammat toimintalämpötilat (Laitinen et al., 2016).

3.5 Pohjavesijäähdytys

Pohjavesijäähdytyksellä toteutettava kaukojäähdytys perustuu menetelmään, jossa pohjaveteen varastoidaan ylijäämälämpöä. Menetelmää kutsutaan ATES-järjestelmäksi (aquifer thermal energy storage). Yksinkertaisimmillaan jäähdytysenergian tuotanto toteutuu kesäaikaan niin, että ATES-kaivosta pumpataan pohjavettä, johon sidotaan jakeluverkostosta ylijäämälämpöä, minkä jälkeen lämmennyt pohjavesi imeytetään takaisin maaperän pohjavesivarastoon (Arola & Isa, 2018).

Pohjavesijäähdytysjärjestelmä toteutetaan tyypillisesti avoimena kiertona. Tällöin pohjavesi pumpataan kaivosta, ohjataan lämmönsiirtimeen ja sen jälkeen pohjavesi palautuu imetyskaivon kautta takaisin akviferiin. Prosessin aikana pohjavesi lämpenee hieman. Pohjaveden palauttaminen takaisin akviferiin vaatii kaksi pohjavesikaivoa, joten jos pohjavesijäähdytystä aiotaan käyttää yhdellä kaivolla, on lämmenneen pohjaveden sijoittaminen suunniteltava määräysten ja lupien mukaisesti (Laitinen et al., 2016). Kauppila (Kauppila, 2018) arvioi ATES-järjestelmän hyödyntämän prosessin lämmittävän pohjavettä 3-5 °C.

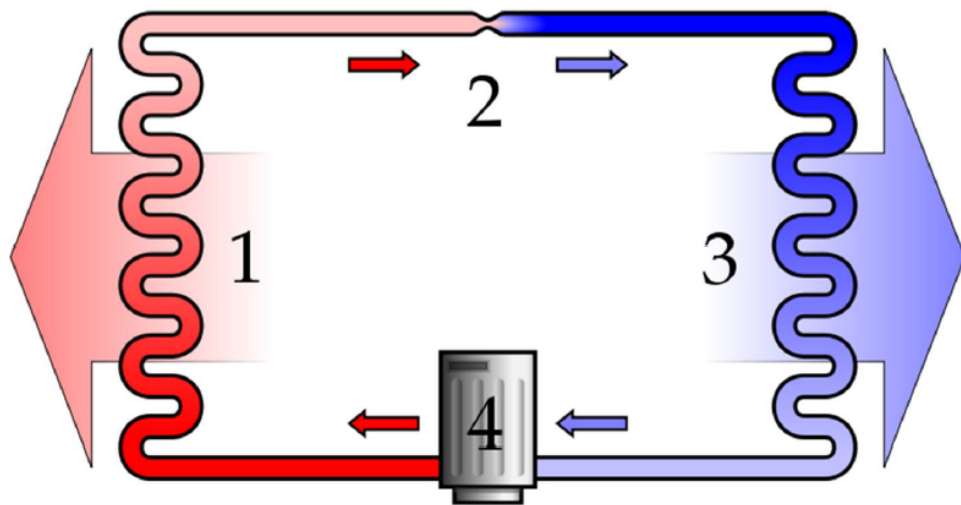
3.6 Lämpöpumppu

Lämpöpumput operoivat samalla toimintaperiaatteella kuin kompressorijäähdyttimet. Lämpöpumpuilla voidaan tuottaa samanaikaisesti lämpöä ja jäähdytystä, mistä johtuen niiden suurilta vaikuttavat investointikustannukset ovat todellisuudessa suhteellisen edullisia (Kuivala, 2012).

Talvella lämpöpumpuilla tuotettu jäähdytys toteutetaan mahdollisuuksien mukaan vapaajäähdytyksellä. Kesäaikaan pyritään hyödyntämään yhteistuotantoa, jolloin jäähdytys toteutetaan kompressor- tai absorptiopohjaisten lämpöpumppujen avulla (Kuivala, 2012).

Kompressoripohjaisen lämpöpumpun tärkeimmät komponentit ovat höyrystin, lauhdutin, ja kompressor. Tämän lisäksi paineenalennusventtiili on järjestelmän optimaalisen toiminnan kannalta välttämätön. Komponentit muodostavat piirin, jossa kylmäaine kulkee. Kylmäaineen välityksellä siirretään energiaa lauhduttimen ja höyrystimen välillä (Koskelainen et al., 2006).

Kuvassa 3 on hahmoteltuna kompressoritoimisen lämpöpumpun toimintaperiaate. Kuvassa on numeroituna tärkeimmät komponentit seuraavasti, numerolla yksi (1) lauhdutin, numerolla kaksi (2) paineenalennusventtiili, numerolla kolme (3) höyrystin ja numerolla neljä (4) kompressor (Satosalmi & Malinen, 2014).



Kuva 3. Kompressoritoimisen lämpöpumpun toimintaperiaate (Satosalmi & Malinen, 2014)

3.7 Kylmäakku

Kaukojäähdytystä voidaan tuottaa kylmäakun avulla. Kylmäakkuna toimii useimmiten joko jää- tai vesivarasto. Kylmäakku sijoitetaan käytännön syistä lähes aina kylmälaitosten yhteyteen. Kylmäakun mahdollistaa jäähdyttimien niin sanotun alimitoituksen, kun huipputehosta jäävä erotus pystytään korvaamaan kylmäakusta saatavalla teholla. Tämä on kaukojäähdytyksen yhteydessä hyvin suosiollinen ominaisuus, kun kulutus on perusluonteeltaan kausittaista ja hyvin ajoittaista. Kylmäakkuihin varastoidulla jäähdytysenergialla pystytään myös korvaamaan tuotantoa, kun sähkön hinta on korkealla ja näin saadaan laskettua tuotantokustannuksia (Skagestad & Mildenstein, 2002). Kylmäakkujen suurin hyöty on jäähdytysreservin luominen, jotta pystytään vastaamaan kuumien hellepäivien kulutuspiikkeihin. Ilman kylmäakkuja kylmälaitosten tehon tulisi olla huomattavasti suurempi, kuin akuilla varustetun järjestelmän kanssa (Werner, 2017).

Kylmäakun toiminta perustuu akun kerrostuneisuuteen, kylmä vesi tuodaan sisään akun yläosasta 4-6 asteen lämpötilassa. Helsingin Energia on päässyt arviolta 80 prosentin

käyttöasteelle, ennen kuin erilämpötilaiset vedet ovat sekoittuneet. Vesien sekoittuessa lämpötila laskee, eikä kylmäakkua voida enää käyttää jäähdytysenergian tuotantoon (Kuivala, 2012).

Kerrostuneisuuteen perustuvan kylmäakun tulee olla tilavuudeltaan suuri, jotta se voi toimia. Kylmäakun tulisi myös olla mitoitettu niin, että sillä voitaisiin korvata noin vuorokauden tehontarve. Yhtenä tärkeänä tavoitteena akulle onkin usein, että se pystyy vikatilanteessa luomaan 24 tunnin puskurin korjauksille. Esimerkiksi 12,6 MW:n teholla tarvittaisiin 19 500 m³ kokoinen vesivarasto, jotta saavutettaisiin vuorokauden ajaksi jäähdytysteho, joka latautuisi samalla (Wang et al., 2017). 19500 m³ kokoinen säiliö vaatii jo melko ison sijoituspaikan, hahmotuksen parantamiseksi todettakoon, että tilavuus vastaa noin 14 keskiverron uimahalleissa käytettävän uima-altaan tilavuutta. Tämän kokoluokan akkujen toteutusratkaisut ovat usein hyvin luovia. Helsingissä on esimerkiksi toteutettu Esplanadin puiston alle sijoitettu 38 500 m³ kylmäakku. Akku on keskimääräisen järven kokoinen ja sijoitettuna 100 metrin syvyyteen maan alle kallioon (Helen Oy, 2015).

3.8 Jakeluverkosto

Kaukojäähdytykseen käytetty energia tuotetaan tyypillisesti keskitetysti, minkä jälkeen jäähdytysenergia siirretään kiertoaineen avulla yhtenäistä jakeluverkostoa pitkin asiakkaiden lämmönsiirtimille. Asiakkaiden lämmönsiirtimet luovuttavat kiertoaineeseen ylimääräisen lämpönsä, jonka jälkeen kiertoaine palaa tuotantolähteelle. Rakennuksien jäähdyttämiseen ja jakeluverkoston kiertoaineena käytetään vettä (Kuivala & Lehdonvirta, 2011).

Keskitettynä tuotettu jäähdytys tarvitsee tuotantoyksikön lisäksi toimivan jakeluverkoston. Kaukojäähdytysverkostossa meno- ja paluuveden lämpötilaero on noin 10 °C, kun kaukolämpöverkostossa se voi olla jopa 50 °C. Tämä johtaa suuriin putkikokoihin ja sitä kautta suurempiin investointeihin verkoston rakentamisessa (Saastamoinen & Paiho, 2018). Suuret investoinnit pyritään kattamaan rakennettuun verkostoon liittyvillä asiakkailla. Tästä syystä verkoston rakennusinvestointeihin rahan sitominen on aina hyvin suuri riski, sillä alueella sijaitsevat kiinteistöt eivät välttämättä liity kaukojäähdytyksen piiriin (Airaksinen et al., 2015).

Kaukojäähdytysverkostoissa käytettävien putkityyppien yleisimmät materiaalit ovat teräsputket ja muoviputket. Maan alle sijoitettavat putket on eristettävä. Paluuputkien osalta eristys ei ole täysin välttämätöntä, mutta eristämättömässä putkessakin kosteuden pääseminen putken pinnalle on estettävä vähintään muovipinnoitteella (Rakkolainen, 2018a).

Vaihtoehtoina keskitetylle jäähdytysjakelulle ovat alueittain keskitetty järjestelmä sekä kiinteistökohtainen tarjonta. Alueittain keskitetyssä järjestelmässä on toisistaan erillään

olevia keskitetyn järjestelmän periaatteella toimivia verkostoja. Kiinteistökohtaisessa tarjonnassa verkostotarvetta ei ole, vaan jokaisen kiinteistön ratkaisut toteutetaan itsenäisesti (Koskelainen et al., 2006).

Teräs on kaukojäähdytysverkostoissa käytetyin putkimateriaali. Kaukojäähdytyksessä voidaan käyttää kaukolämpöjärjestelmissäkin hyödynnettävää kiinnivaahdotettua kaukolämpöjohtoa. Virtaavan veden ja maaperän pienen lämpötilaeron vuoksi voidaan kuitenkin käyttää ohuempaa lämpöeristekerrosta (Rakkolainen, 2018a).

Teräsputkijärjestelmää hyödynnettäessä happidiffuusio ei aiheuta samankaltaisia ongelmia, kuin muoviputkiverkolla. Investointikustannuksiltaan muoviputkiverkko olisi edullisempi, mutta nyt käytössä olevat verkot on toteutettu teräsputkilla, joten verkostomateriaalin valinta on käytännössä jo tehty (Kuivala, 2012).

Kaukojäähdytysverkosto voidaan rakentaa muoviputkesta. Muoviputkesta verkostoa rakennettaessa tulee ottaa huomioon, että koko jakeluverkosto on toteutettava muoviputkilla ja mahdollisen happidiffuusion vuoksi on suoritettava lisätoimenpiteitä. Happidiffuusion vuoksi on esimerkiksi lämmönsiirtimet sekä pumput ja venttiilit varustettava korroosiosuojauksella. Reagoimattomuus happidiffuusioon muoviputkijärjestelmien kanssa aiheuttaa mekaanisissa osissa huomattavaa heikkenemistä (Kuivala & Lehdonvirta, 2011).

Muoviputkesta rakennetussa verkostossa on tyypillisesti menojohto eristettynä ja paluujohto eristämättömänä. Putkien pintaan tiivistyvä kosteus ei muoviputkia käytettäessä ole ongelma. Muoviputket eivät vaadi myöskään routaeristystä, jos ne on asennusvaiheessa kaivettu tarpeeksi syvälle (Kuivala & Lehdonvirta, 2011).

4. AINEISTO JA MENETELMÄT

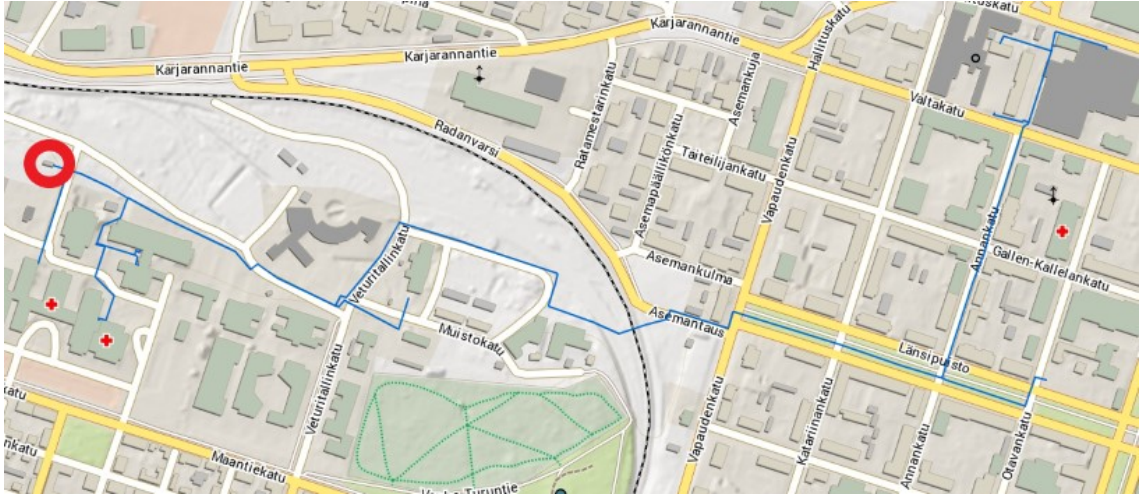
Tiedon keräämiseen ja käsittelyyn liittyvät toimintatavat määräävät suurilta osin sen, millaista tietoa tutkimuksen avulla voidaan tuottaa. Koska erilaiset tiedonkeruumenetelmät johtavat erilaisiin tuloksiin on tutkimuksien toistettavuuden ja luotettavuuden kannalta hyvä eritellä tutkimuksen aikana käytetyt aineistojen keruu- ja käsittelymenetelmät (Olkkonen, 1994). Tässä luvussa käydään läpi näiden lisäksi myös työn lähtökohdat, sillä nekin vaikuttavat osaltaan työn kulkuun ja lopputuloksiin.

4.1 Nykytilanne

Nykytilan arviointiin ja kuvaamiseen käytetty tieto on kerätty pääosin yrityksen omista tietojärjestelmistä. Osa nykytilaa kuvaavista tiedoista on kerätty kolmansien osapuolien aikaisemmin tuottamista materiaaleista. Tietojärjestelmiin kirjattava tieto tulee niiden käyttäjiltä, joten tietojen paikkansapitävyys ja kattavuus saattavat vaihdella käyttäjien aktiivisuuden ja motivaation perusteella. Tästä syystä tietojärjestelmistä ja muista materiaaleista haetun tiedon paikkansapitävyys varmistettiin vielä yrityksen henkilökunnalta.

Kaukojäähdytystoiminta Porissa aloitettiin vuonna 2012. Pori Energia Oy:n tämänhetkinen kaukojäähdytystoiminta on jakautunut kahteen erilliseen verkostoon eli jäähdytys on tuotettu alueittain keskitetysti. Toinen verkko sijaitsee Päärnäisten sekä keskustan alueella ja toinen Tiilimäellä. Verkot ovat täysin itsenäisiä eli molemmilla verkoilla on omat jäähdytyksen tuotantotavat ja -keskukset. Kaukojäähdytys on yrityksen liiketoimintana ensiasteella, johon kuuluu jäähdytyksen valmistaminen kompressoriteknikan avulla (Pori Energia Oy, 2018).

Pori Energia Oy:n kaukojäähdytystoiminta aloitettiin Päärnäisten kaukojäähdytysverkon alueella. Verkko vastaa kaupunginsairaalan ja keskustan alueen jäähdytyksestä. Keskustan alueelle verkosto jatkettiin vuonna 2016 ja tällöin myös keskustan pohjoispuolella sijaitseva Karhukortteli liitettiin kaukojäähdytykseen. Kuvassa 4 on järjestelmäkuva Päärnäisten ja keskustan alueen jakeluverkostosta. Kuvaan on merkattu punaisella ympyrällä nykyisen jäähdytyskontin sijainti. Verkon runkoputken pituus on noin 1,5 kilometriä ja verkon kokonaispituus on noin 2,2 kilometriä (Kauppila, 2018).



Kuva 4. Päärnäisten ja keskustan alueen kaukojäähdytyksen jakeluverkosto

Päärnäisten verkon kaukojäähdytys tuotetaan jäähdytyskontilla, jossa on 1500 kW kompressorijäähdytinratkaisu. Jäähdytyskontin toteutus on jaettu viiteen 300 kW:n kompressoriin. Päärnäisten verkon vapaajäähdytyspotentialiaali on 500 kW (Huhdanmäki, 2017). Kuvassa 5 Päärnäisten verkon kompressoriratkaisu.



Kuva 5. Päärnäisten verkon kompressoriratkaisu

Tiilimäen verkon rakennus aloitettiin vuonna 2014 ja se vastaa Tiilimäen alueella sekä Satakunnan keskussairaalan alueella suoritettavasta kaukojäähdytyksestä. Tiilimäen verkon pituus on noin 1,1 kilometriä (Pori Energia Oy, 2018). Kuvassa 6 on Tiilimäen ja Satakunnan keskussairaalan ympäristön jakeluverkosto. Kuvaan on merkitty punaisella ympyrällä tämänhetkisten kompressorijäähdyttimien sijainti.



Kuva 6. *Tiilimäen ja Satakunnan keskussairaalan ympäristön jakeluverkosto*

Tiilimäen lämpökeskuksen yhteydessä sijaitsevat Tiilimäen verkon jäähdytyksen tuotantolaitteet. Tiilimäen verkon kaukojäähdytys tuotetaan kahdella kompressorijäähdyttimellä, joista toinen on 1000 kW ja toinen 2000 kW. Vapaa jäähdytyksellä Tiilimäen verkossa on mahdollisuus tuottaa jäähdytystä 1300 kW (Huhdanmäki, 2017). Kuvassa 7 Tiilimäen kompressorijäähdyttimet, vasemmalla 1000 kW kompressorijäähdytin ja oikealla 2000 kW turbokompressorijäähdytin.



Kuva 7. *Tiilimäen verkon kaukojäähdytyksen tuottavat kompressorijäähdyttimet*

4.2 Kaukojäähdytyspotentiaali

Kohdealueen teoreettista kaukojäähdytyspotentiaalia arvioitiin yhdistelemällä sekä päivittämällä aikaisemmin tehtyjä selvityksiä. Potentiaaliselvityksien pohja-aineistoina käytettiin aikaisemmin kohdeyritykselle tuotettuja selvityksiä. Selvityksistä haettiin perustietoja ja alkulaskelmia, mitkä päivitettiin tarkastelun aikana vastaamaan sen hetkistä tilannetta.

Arvioitujen lukujen lisäksi etsittiin muista kirjallisuuslähteistä kaukojäähdytykseen liittyviä tutkittuja käyttäytymismalleja. Käyttäytymismalleilla voidaan tarkentaa tehtyjä arvioita vastaamaan todellisia arvoja paremmin.

4.3 Markkina-analyysi

Markkinoiden tarkastelemiseksi käytiin läpi aikaisemmin tuotettua valtakunnallista materiaalia kaukojäähdytysmarkkinoista sekä tuotettiin itse materiaalia paikallisista jäähdytysmarkkinoista. Tarkoituksena oli hakea laadullisen eli kvalitatiivisen tutkimuksen keinoin markkinoihin vaikuttavia tekijöitä erikseen molemmista ja sen jälkeen vertailla kyselyjen tuloksia keskenään.

Kvalitatiivisen tutkimuksen käsite pitää sisällään monia hyvin erilaisia tutkimustapoja ja -otteita. Usein laadullisessa tutkimuksessa käytetään tutkimuksen eri vaiheissa vaihtelevia menetelmiä. Kvantitatiivisessa tutkimuksessa käytetään haastatteluissa strukturoituja kysymyksiä ja haastateltavat otetaan useimmiten satunnaisotoksina (Metsämuuronen, 2008). Laadullinen tutkimusote valikoitui haastatteluja määriteltäessä, sillä kysymyksiin haluttiin laadulliselle tutkimukselle ominaisia avoimia kysymyksiä ja ne haluttiin esittää tietyllä ihmisjoukolle, satunnaisotoksen sijaan. Strukturoitujen haastattelujen tuottama tieto on usein pinnallista, kun taas avoimempien haastattelujen avulla kerätty tieto on jo lähtökohtaisesti syvällisempää (Metsämuuronen, 2008). Käytetty haastattelumalli on jäsenNELTY, mutta rakennetta ei noudatettu tarkasti vaan haluttiin antaa tilaa myös vapaalle keskustelulle ja sitä kautta esiin nouseville asioille.

Markkina-analyysiä suoritettiin hyödyntämällä aikaisemmin tuotettua sekundääristä tietoa sekä tuottamalla puhelinhaastattelujen avulla omaa primääristä aineistoa. Aikaisemmin tuotettu kysely on suoritettu valtakunnallisella tasolla ja työn aikana suoritettut puhelinhaastattelut suoritettiin paikallisella tasolla. Sekundäärisen tiedon markkina-analyysin avulla pyrittiin löytämään päätutkimuskysymyksen mukaisia kaukojäähdytysmarkkinoiden keskeisiä strategisia ominaisuuksia valtakunnallisilta jäähdytysmarkkinoilta ja primäärisen informaation avulla pyrittiin löytämään vastaavia ominaisuuksia paikallisilta jäähdytysmarkkinoilta.

Keskeisten strategisten ominaisuuksien löytämisen lisäksi kahden eri markkinan tarkastelun avulla tavoiteltiin näkemystä siitä, vaikuttavatko samat ominaisuudet myös Porin

kaukojäähdytysmarkkinoilla. Vaikuttavien strategisten ominaisuuksien avulla pyrittiin siis selvittämään, onko markkinoiden välillä vallitsevaa analogiaa. Analogialla tässä tarkoitetaan sitä, voidaanko markkinoiden olettaa toimivan yleisesti samojen lainalaisuuksien perusteella vai ovatko ne luonteiltaan täysin erilaiset (Olkkonen, 1994).

Global research and data services on suorittanut Kiinteistöjen jäähdytystarpeet tulevaisuudessa - Pro Cooling Future: Finland -kyselyn vuonna 2013. Kysely on toteutettu puhelinhaastatteluina ja sen tarkoituksena oli selvittää, mitä suurimpien kiinteistöjen omistajat ajattelevat jäähdytyksen tuotantotavoista, kiinteistöjensä jäähdytystarpeista ja erityisesti kaukojäähdytyksen hyödyntämisestä. Tutkimukseen haastateltiin 201 kiinteistön omistajaa ja kiinteistösijoitus- ja kehitysyhtiöitä. Omistuksen kohteina oli asuinrakennuksia, konesaleja, teollisuustiloja sekä liikerakennuksia ja kauppakeskuksia. Kyselyihin vastanneita oli ympäri Suomea, joten tulokset antavat kuvaa kaukojäähdytysliiketoiminnan yleisistä piirteistä Suomessa (*Kiinteistöjen jäähdytystarpeet tulevaisuudessa - Pro Cooling Future: Finland*, 2013).

Paikallisten markkinoiden tarkastelemiseksi suoritettujen puhelinhaastattelujen haastateltavina olivat Porin alueella toimivat isännöitsijät. Isännöitsijät valittiin haastateltaviksi, koska kaukojäähdytystä hyödyntävät kohteet ovat yleisimmin isännöitsijöiden hallitsemia. Näin ollen isännöitsijöillä on paras asema muodostaa taloyhtiöiden tarpeista reaaliaikainen käsitys. Tarkoituksena oli saada tarkempaa aineistoa Porissa sijaitsevien Asuntoyhtiöiden jäähdytystarpeista ja -suunnitelmista.

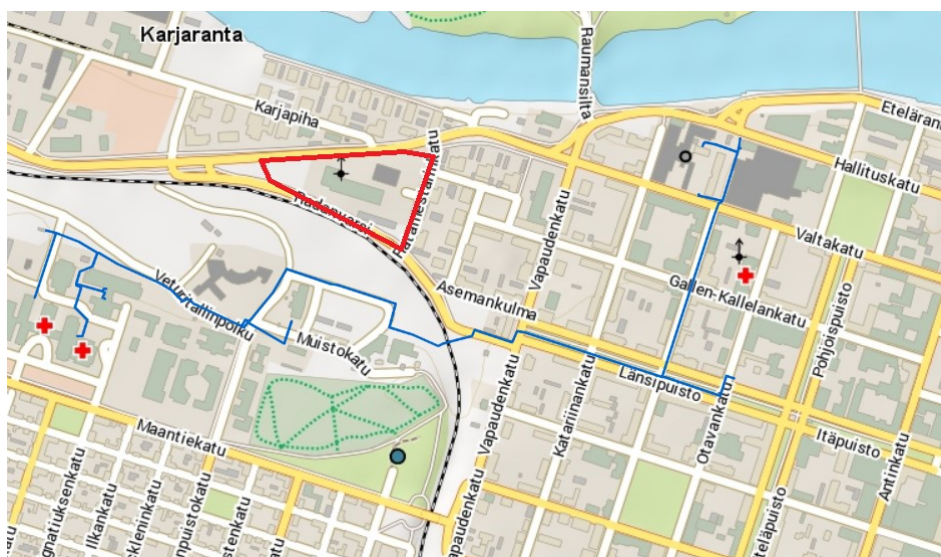
Haastatteluun pyrittiin saamaan vastauksia mahdollisimman usealta Porissa isännöinnin piirissä toimivalta yritykseltä. Lopputuloksena vastauksia saatiin 13 eri yritykseltä ja 17 eri isännöitsijältä. Keskimäärin isännöitsijän piirissä olevia kiinteistöjä oli 28 kiinteistöä tai taloyhtiötä. Haastatteluiden pohjana käytetyt runkokysymykset ovat nähtävissä liitetiedostossa (LIITE A).

4.4 Pohjavesijäähdytyskartoituksen lähtökohdat

Osana diplomityötä toteutettiin selvitysprojekti, jonka tarkoituksena oli muodostaa kokonaiskuva siitä, onko pohjavesijäähdytyksen hyödyntäminen Porin keskustan alueella kannattavaa tai edes mahdollista. Projektin lähtökohdat pohjautuivat Geologian tutkimuskeskuksen laatimaan esiselvitykseen Porin keskustan pohjavesialueen energiapotentiaalista. Varsinkin pohjavesialueen laajuus oli epäselvä, aikaisempien arviointien mukaan Radanvarren toimipiste sijaitsi aivan pohjavesiesiintymän rajalla (Arola & Isa, 2018).

Selvityksessä tarkasteltiin pääasiassa Pori Energia Oy:n Radanvarressa sijaitsevaan toimipisteeseen sijoitettavan pohjavesijäähdytyslaitoksen toteutettavuutta. Vanhan olutteen ympäristössä sijaitsevia pohjavesikaivoja ja niiden ympäristöäkin pohdittiin, mutta

pääpaino selvityksessä oli selkeästi Radanvarren osuudessa. Radanvarren toimipiste sijaitsee keskustaan nähden sen luoteiskulman länsipuolella. Radanvarren toimipisteen tontti on rajattuna punaisella värillä kuvassa 8.



Kuva 8. Radanvarren toimipisteen sijainti kartalla

Pori Energia Oy:lle tuotettiin EnerSys CM Oy:n toimesta alustava hankeselvitys pohjavesijäähdytyksen tuottamisesta Radanvarren toimipisteellä. Kari Kauppilan tuottama raportti perustuu Geologian tutkimuskeskuksella työskentelevän Teppo Arolan aikaisemmin laatimaan esiselvitykseen pohjaveden energiapotentiaalista.

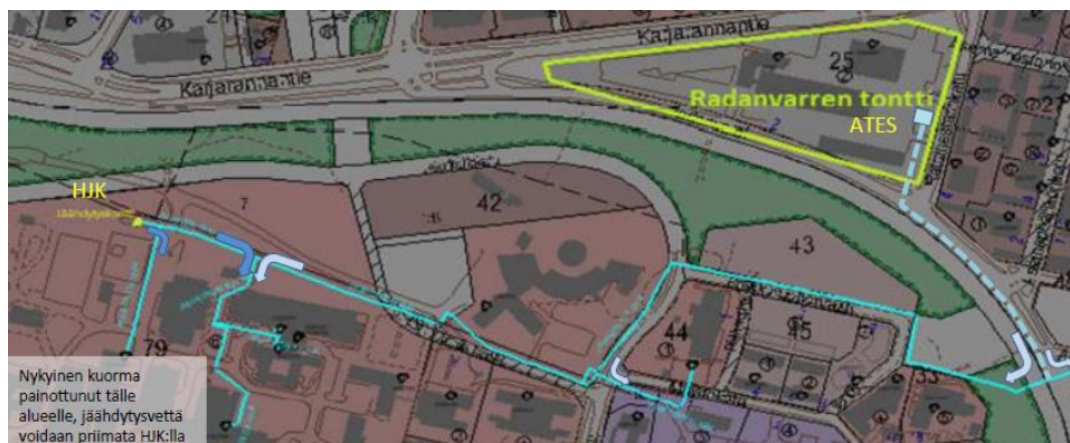
Kauppilan tuottamassa raportissa kaukojäähdytyksen tuottaminen on vaiheistettu neljään eri vaiheeseen, jotka ovat riippuvaisia kuorman suuruudesta. Vaiheistamisen tarkoituksena on kasvattaa kapasiteettia mahdollisimman tehokkaasti kuorman kasvaessa ja välttää suurten kertainvestointien aiheuttamia kustannusriskejä. Taulukossa 2 on esitettyä Kauppilan vaiheistuksien investoinnit ja jäähdytyskuormien jakautuminen tuotantolaitosten kesken (Kauppila, 2018). Taulukossa käytetty termi ATES muodostuu sanoista aquifer thermal energy storage ja se viittaa pohjaveteen perustuvaan lämmön varastointiin. LPJ-keskuksella tarkoitetaan lämpöpumppujäähdytyskeskusta ja HJK:lla tarkoitetaan huippujäähdytyskeskusta.

Taulukko 2. *ATES-investointien vaiheistus ja jäähdytyskuormien jakautuminen mukaillen Kauppilaa (Kauppila, 2018)*

Investointivaihe	1	2	3	4
Investointikohde	1. ATES-kaivo	2. ATES-kaivo	ATES-LPJ-keskus	Uusi HJK
Jäähdytyskuorma [MWh/a]	500	1000	1500	2000
Jäähdytystuotannon jakautuminen [MWh/a]				
Nykyinen jäähdytyskeskus	120	300	150	250
1. ATES-kaivo	380	550	550	650
2. ATES-kaivo		150	500	600
ATES-LPJ-keskus			300	450
Uusi HJK				50

Kauppilan ideana on, että peruskuorma tuotetaan pohjavesijäähdytyksen avulla Radanvarressa ja nykyistä jäähdytyskeskusta käytetään huippukuormien aikaan priimaamaan, eli jäähdytyksen osalta laskemaan kaupunginsairaalaan menevän jäähdytysveden lämpötilaa. Selvityksen suunnitelmassa nykyinen jäähdytyskeskus jätetään paikoilleen juuri priimaustarpeen vuoksi. Nykyinen tilanne vaatisi pelkän tehontarpeenkin kannalta lisätehoa HJK:lta ainakin pohjavesijäähdytyksen alkuvaiheissa.

Nykyisestä jäähdytyskuormasta hieman yli 80 prosenttia on keskittynyt kaupunginsairaalan alueelle, joten nykyisen jäähdytyskeskuksen sijainti on sen kannalta hyvä. Kuvassa 9 on hahmoteltuna suunnitelman mukaiset virtaukset ja laitoksien sijaintipaikat (Kauppila, 2018).



Kuva 9. Jäähdytyslaitosten sijainnit ja verkoston virtaussunnat (Kauppila, 2018)

Kauppilan suorittamissa laskennoissa (Kauppila, 2018) pisimmälle viedyssä ratkaisussa on kaksi ATES-kaivoa ja niiden yhteydessä lämpöpumppuratkaisuun pohjautuva jäähdytyskeskus. Tällä ratkaisulla tuotettaisiin samanaikaisesti lämmitystä sekä jäähdytystä. Tällä ATES-ratkaisulla pystyttäisiin tuottamaan 2000 MWh vuosikuormasta 1700 MWh. Samanaikaisesti tuotettaisiin lämmitystä 1500 MWh. Samanaikaisen tuotannon mahdollistamiseksi lämpöpumppu kytkettäisiin välillisesti sekä kaukolämpö-, että kaukojäähdytysverkkoon, jolloin jäähdytysverkoston lämpötilaa saadaan laskettua samalla, kun kaukolämpöverkon lämpötilaa nostetaan.

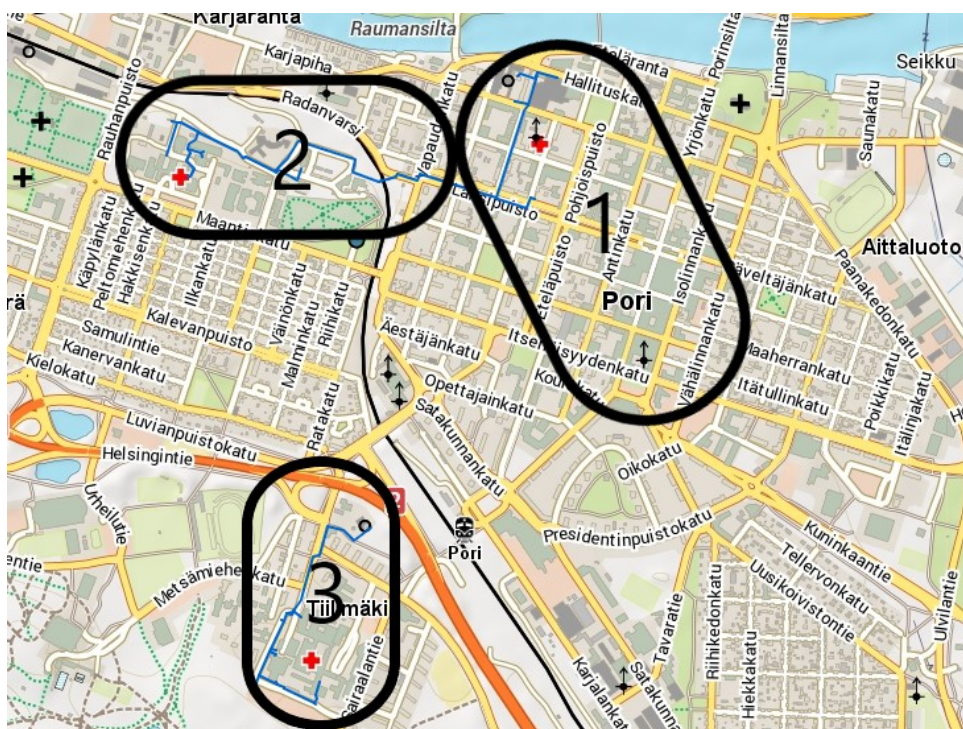
ATES-LPJ-keskukseen lisäksi suunnitelmassa on mainittu huippujäähdytyskeskuksia, jotka sijoitettaisiin verkon varrelle, mutta joiden sijaintia ei ole Kauppilan toimesta suunnitelmassa esitelty. Uusien huippujäähdytyskeskusten sijaintia määrittelevät paljon verkon laajentumissuunnat, joten niiden sijaintia onkin lähes mahdotonta suunnitella etukäteen.

5. TULOKSET JA ANALYYSI

Tässä luvussa käydään läpi aineistoista havaittuja tuloksia. Tulokset näyttävät, että kaukojäähdytysliiketoiminnalla on oikein toteutettuna edellytykset kasvaa vielä huomattavasti. Kaukojäähdytysmarkkinoista suoritettujen haastattelujen tulokset näyttävät suhteellisen selkeästi tiettyjä strategisia ominaisuuksia, joiden pohjalta uutta tuotantostrategiaa voidaan suunnitella. Pohjavesijäähdytys osoittautui työssä tarkasteltujen ominaisuuksien osalta hyödyntämiskelpoiseksi ja taloustarkastelujen perusteella kannattavaksi tuotantovaihtoehdoksi.

5.1 Porin kaukojäähdytspotentiaali

Porin alueella kaukojäähdytys keskittyy pääasiassa keskustan alueelle, Porin kaupunginsairaallalle ja Satakunnan keskussairaallalle. Näiden alueiden ulkopuolelta on todettu kustannuksiin nähden liian pientä jäähdytspotentiaalia, suurimman osan kohteista ollessa asuinrakennuksia kuten omakotitaloja (Kuivala, 2012). Kuvassa 10 potentiaalisten asiakkaiden alueet numeroituna seuraavasti: numero 1 keskustan alue, numero 2 Porin kaupunginsairaalan alue ja numero 3 Satakunnan keskussairaalan alue.



Kuva 10. Potentiaalisten asiakkaiden alueet numeroituna mukailen Kuivalan selvitystä (Kuivala, 2012)

Keskustan alueella potentiaaliset asiakkaat jakautuvat kahteen alueeseen, liikekeskusalueeseen, joka on alueen eteläpuoliskolla ja alueen pohjoispuoliskoon, jossa rakennetaan

uusia kerrostaloja niin sanottuun karhukortteliin eli vanhan oluttehtaan alueelle. Keskustan alueen potentiaali jakautuu lähes puoliksi ala-alueiden kesken. Liikekeskusalueella sijaitsevat muun muassa Iso-Karhu, Sokos, Teljäntori ja Promenadikeskus. Pohjoispuoliskon potentiaaliset kaukojäähdytyskohteet koostuvat yksittäisistä liikekiinteistöistä, peruskorjattavista rakennuksista ja julkisista rakennuksista. Tämän lisäksi täysin uudet rakennukset ovat usein kiinnostuneita kaukojäähdytyksestä. Kaupunginsairaalan alueeseen on liitetty Veturitallien arvioitu potentiaali, joka koostuu julkisista rakennuksista sekä uusista toimistorakennuksista (Kuivala, 2012).

Näiden kolmen pääalueen kaukojäähdytyspotentiaalia arvioitiin Greenfield Consulting Oy:n Pori Energia Oy:lle tuottamassa selvityksessä. Selvityksessä ilmoitettuja lukemia käytettiin pohjatietona muodostettaessa seuraavaa taulukkoa, jossa on eritelty alueiden kaukojäähdytyspotentiaalia. Selvityksistä saaduista pohjatiedoista vähennettiin jo toteutetut jäähdytysratkaisut ja sisältöä päivitettiin tarkemmin vastaamaan nykytilannetta.

Taulukon lukemissa on käytetty 0,60 penetraatiokerrointa, jonka avulla pyritään ennustamaan teoreettisesta potentiaalista lähempänä toteutuvaa olevia arvioita. Penetraatiokerroin 0,60 on Helsingin Energian kokemusten mukainen toteutunut liittymispenetraatiokerroin (Kuivala, 2012). Taulukossa 3 on eriteltynä alueiden arvioidut potentiaaliset liittymistehot ja vuosienergioiden määrät.

Taulukko 3. Porin kaukojäähdytysalueiden arvioidut liittymistehon ja vuosienergian kasvut käyttäen pohjalukuina Kuivalan selvityksen arvioita (Kuivala, 2012)

Alue	Liittymisteho [kW]	Vuosienergia [MWh/a]
Keskusta	2943	1828
Kaupunginsairaalan alue	989	985
Satakunnan keskussairaala	5115	4388
Yhteensä	9047	7201.19

Penetraatiokerroin yksinään ei vielä riitä antamaan riittävää arviota kaukojäähdytysveroston todellisesta tehosta. Kaukojäähdytysverkon huipputeho on aina liittymistehoa alhaisempi. Tämä johtuu asiakkaiden jäähdytystarpeiden eriaikaisuudesta. Vaihtelu korjataan risteilykertoimella (Chow et al., 2004). Kuivala arvioi Porin jäähdytysasiakaskannan ja Helsingin Energian kokemusten perusteella Porin risteilykertoimen olevan 0,7 (Kuivala, 2012). Huomioimalla risteilykerroin 0,7 edellisen taulukon yhteenlaskettu liittymistehosta saadaan verkon arvioiduksi toteutuvaksi tehontarpeen kasvuksi 6332,9 kW. Kun lisätään arvioidut tehontarpeet ja vuosienergian kulutus nykyisen verkon ominaisuuksiin, saadaan arvioiduksi toteutuvaksi Porin kaukojäähdytysverkon tehontarpeeksi **8244,5 kW** ja käytetyn vuosienergian määräksi **8095 MWh**. Tässä arvioissa penetraatiokerroin ja risteilykerroin ovat vaikuttaneet kaikkiin kohteisiin. Todennäköistä onkin, että lopullinen tehontarve tulee kasvamaan arviosta.

Tämän arvion ulkopuolelta suuren kaukojäähdytyspotentialinsa ansiosta kiinnostava kohde olisi myös Satakunnan ammattikorkeakoulun kampus rautatieaseman vieressä. Jos Satakunnan ammattikorkeakoulun kampus saataisiin liitettyä kaukojäähdytyksen piiriin, se lisäisi verkon tehontarvetta 1767,5 kW, jolloin koko verkon tehontarpeeksi muodostuisi 10012 kW. Tässä tilanteessa vuosittain käytetyn energian määrä olisi arviolta 9332,3 MWh. Satakunnan ammattikorkeakoulun kohteen liittäminen vaatisi kaukojäähdytysverkolta melko suurta laajennusta. Kiinteistöön tarjottiin rakennusvaiheessa kaukojäähdytystä, mutta rakennuttaja päätyi toisenlaiseen ratkaisuun.

5.2 Kylmäkoneiden ominaisuudet

Työn teoreettisessa viitekehyksessä esiteltiin erilaisia vaihtoehtoja kaukojäähdytyksen tuotantoa varten. Tässä kappaleessa tarkastellaan tarkemmin tuotantoratkaisujen ominaisuuksia.

Kaukojäähdytykseen käytettävien tuotantotapojen osalta kiinnostavimpia teknisiä ominaisuuksia ovat primäärienergianlähde, COP sekä tehoalue. Primäärienergianlähde asettaa usein rajoituksia tuotannon sijoittamiselle ja tehoalue rajaa tietyissä tilanteissa vaihtoehtoja pois käyttövaihtoehdoista.

Kaavassa (1) näkyvä kirjainlyhenne COP tulee sanoista coefficient of performance ja sitä kutsutaan usein kylmäkertoimeksi. COP kuvaa suhdetta, jolla kylmäkone tuottaa primäärienergianlähteestään kylmäenergiaa (Faraji et al., 2014).

$$COP = \frac{\text{Jäähdytysteho}}{\text{primäärienergiateho}} \quad (1)$$

Taulukossa 4 on esitettyinä erilaisten kompressorien ja absorptiokoneiden ominaisuuksia (Koskelainen et al., 2006; Laitinen et al., 2016). Kompressoriteknologian kehittyminen on nostamassa mahdollisia yksikkötehoja, minkä myötä alemman tehoalueen kompressoriteknologioiden käyttömahdollisuudet tulevat todennäköisesti lisääntymään. Taulukossa esitetyt COP-arvot ovat täystehoa lähentelevälle kuormalle. Jos kompressorijäähdytintä joudutaan käyttämään pienillä osatehoilla sen COP-arvo alkaa laskea. Absorptiokoneiden osalta ilmoitettuja COP-arvoja voidaan pitää lähtökohtana laitteiden toiminnalle. Kuitenkin huomioiden, että niiden toimintaperiaatteeseen ja COP-arvoon vaikuttavat huomattavasti portaisuus ja vaiheisuus (Laitinen et al., 2016).

Taulukko 4. *Kompressorien ja absorptiokoneiden ominaisuuksia mukaillen Koskelainen et al. & Laitinen et al. (Koskelainen et al., 2006; Laitinen et al., 2016)*

Ominaisuus	Kompressorit			Absorptio		
	Mäntä	Ruuvi	Turbo	1-vaiheinen	2-vaiheinen	2-portainen
Primäärienergian-lähde	Sähkö	Sähkö	Sähkö	80-100 °C vesi	>150 °C vesi	70-90 °C vesi
Kylmäaine	R134a, R407a, HCFC, NH ₃	R134a, R407a, HCFC, NH ₃		H ₂ O - LiBr / NH ₃ -H ₂ O	H ₂ O - LiBr / NH ₃ -H ₂ O	H ₂ O - LiBr / NH ₃ -H ₂ O
COP	2,5 - 5,0	3,0 - 6,0	4,0 - 6,0	0,6 - 1,0	1,2 - 1,6	0,4 - 0,7
Tehoalue [MW]	<1,0	0,2 - 5,0	0 - 30,0	< 6,0	< 10,0	< 2,5
Tilantarve [m²/MW]	6 - 16	6 - 16	6 - 16	10 - 30	10 - 30	10 - 30

Taulukon perusteella voisi pikaisella tarkastelulla todeta, että kompressorikäyttöiset laitteet ovat jo pelkän COP-kertoimen vuoksi ylivoimaisia absorptiota hyödyntäviin laitteisiin nähden. Asia ei kuitenkaan ole aivan näin yksiselkoinen, sillä vaikka absorptiolaitteiden COP-kerroin itsessään onkin matala, ne parantavat kannattavuuttaan lämmönlähteensä avulla. Absorptiolaitteiden lämmönlähteenä pyritään käyttämään hukkalämpöä, jolloin jäähdytyksen tuotantokustannukset ovat yleensä minimaaliset verrattuna sähkökäyttöiseen kompressorin.

Absorptiolaitteiden lisäksi myöskin adsorptiolämpöpumppujen käyttäminen on herättänyt kiinnostusta viime vuosina. Demir et al. (Demir et al., 2008) tutkivat adsorptiolämpöpumppujen kehittämistä ja koostivat pumppujen COP-arvoja sekä niissä käytettyjä väliaineita. Taulukossa 5 on adsorptiolämpöpumppujen COP-arvoja mukaillen heidän tutkimustaan.

Taulukko 5. *Adsorptiolämpöpumppujen COP-arvoja eri lämpötiloilla ja työainepareilla mukaillen Demir et al. (Demir et al., 2008).*

Työainepari	Lämmönlähteen lämpötila [°C]	COP
Silikageeli-vesi	60	0,3-0,65
Silikageeli-vesi	55	0,25
Silikageeli-vesi	86	0,41
Silikageeli-vesi	80	0,6
Silikageeli-vesi	80-95	0,5
Silikageeli-metanoli	85	0,3
Zeoliitti-vesi	150	0,3

Adsorptiolaitteista matalaa lämmönlähdettä hyödyntävistä laitteista on tutkittu vasta pienitehoisia laitteita, jotka eivät sovellu hyvin keskitetyn kaukojäähdytyksen tuottamiseen (Laitinen et al., 2016). Ruotsissa tuotetun tutkimuksen mukaan (Sagebrand et al., 2015)laitteiden investointikustannus on toinen tekijä, jonka perusteella adsorptiolaitteita ei kannata käyttää myöskään kiinteistökohtaisten ratkaisujen tuottamiseen. Laitteiden

investointikustannukset tutkimuksen mukaan ovat absorptiolaitteiden kanssa samaa suuruusluokkaa, mutta absorptiolaitteilla saavutetaan paremmat kylmäkertoimet. Adsorptiolaitteet vaatisivat siis lisäkehitystä, jotta ne muodostuisivat kaukojäähdytyksen tuotannon kannalta potentiaalisiksi vaihtoehtoiksi.

Lämpöpumput ovat kaukolämmön ja -jäähdytyksen yhteistuotannossa COP-arvoiltaan lähellä kompressorijäähdyttimiä. Niiden COP-arvot vaihtelevat optimioloissa keskimäärin COP-arvoilla **3-5**. Lämpöpumpuista saadaan suurin hyöty, kun niillä tuotetaan samanaikaisesti lämpöä ja jäähdytystä. Tällöin voidaan esimerkiksi tuottaa kaukolämmitystä ja -jäähdytystä samanaikaisesti siten, että lauhduttimen puolella lämpöpumppu siirtää lämpöenergiaa lämmittäen kaukolämmityksen kiertovettä ja höyrystimen puolella kaukojäähdytysverkon kiertovedestä otetaan lämpöenergiaa, jolloin kaukojäähdytysverkon kiertoveden lämpötilaa saadaan laskettua (Aittomäki & Aalto, 2012).

Tehoalueeltaan lämpöpumput ovat hyvin joustavia. Suomessa on toteutettu Akaalla 500 kW jäähdytysteholla toimiva järjestelmä ja Turussa on lämpöpumppujärjestelmä, joka tuottaa jäähdytystehoa 14 MW. (VALOR Partners Oy, 2016). Lämpöpumpuilla pyritään usein hyödyntämään vesistöjen lämpöä tai kylmyyttä. Porin keskustan alueella hyödynnettäviä maanpinnan päällisiä vesistöjä ei ole. Kokemäen jokea on joitakin kertoja mietitty hyödynnettäväksi, mutta jokiveden lämpötila ei riitä kesällä jäähdytyksen tuottamiseen ja talvella jäät ja sohjoinen massa tekevät hyötykäytöstä liian haastavaa.

COP-kerrointa tarkastellessa on vapaajäähdytyksen hyödyntäminen jäähdytyksen tuottamiseen ylivoimaisesti tehokkain. Vapaajäähdytyksen avulla voidaan saavuttaa käytännössä pumppauksen hinnalla COP-kertoimen arvoksi jopa yli 20. Pohjavesienergialla voidaan vapaajäähdytyksen avulla tuottaa suurin osa peruskuormasta. Muita mahdollisuuksia vapaajäähdytykseen kesäisin ei kovinkaan paljoa ole, johtuen keskustan kaukaisesta etäisyydestä vesistöihin, joiden lämpötilat olisivat jäähdytyskäyttöön sopivia.

Vapaajäähdytykseen voidaan hyödyntää ulkoilmaa. Vapaajäähdytyksen hyödyntäminen ulkoilman avulla on mahdollista, kun sen lämpötilat ovat riittävän alhaiset. Kiinteistökohtaiset jäähdytysjärjestelmät ovat useimmiten välillisiä järjestelmiä. Ulkoilmaa hyödyntävä vapaajäähdytys voidaan kuitenkin toteuttaa myös suorana jäähdytyksenä. Ulkoilmavapaajäähdytystä käytetään yleensä keväisin ja syksyisin (Laitinen et al., 2016).

Kaukolämmityksen ja -jäähdytyksen kilpailijaksi tunnistettu maalämpö on periaatteeltaan hieman erilainen, kuin kaksi edellä tarkasteltua ratkaisua. Maalämpöratkaisussa tuotetaan lämpöpumpun avulla samanaikaisesti lämmitystä sekä jäähdytystä. Ratkaisun haittapuolena on kuitenkin selkeästi pienempi jäähdytyksen tuottaminen. Maalämmön avulla ei voida tuottaa tasaisesti sellaista jäähdytysmäärää, jota pitkällä hellejaksoilla tarvittaisiin (Holopainen et al., 2010).

Lämmityksestäkin maalämpöerilliskäytöksissä huipputehon korkeimmat kulutukset täydennetään sähkön avulla. Jäähdytyskapasiteetti on täysimittaiseksi mitoitettuissakin

maalämpöjärjestelmässä niin sanotusti osamitoitettu. Kustannustehokkaasti voidaan maksimissaan tuottaa 2/3 jäähdytystarpeesta, johtuen järjestelmän mitoituksista. Täysimittaisen jäähdytyksen toteuttaminen nostaisi energiankeruupiirien ja laitteistojen aiheuttamia kustannuksia. Lämmityksen mitoituksen pohjalta kokonaiskustannus saattaa muuttua yli 15 000 € ja täysimittaisen jäähdytyksen mukaan mitoittaminen kasvattaisi investointia vielä lisää. Investoinnista, jonka kokonaiskustannus on kymmenien tuhansien luokkaa, lisäys tekee useimmiten kannattamattoman. (Holopainen et al., 2010). Jäähdytyspotentiaalin puolesta maalämpö ei siis ole selkeästikään paras ratkaisu. Sen edut tulevat suurilta osin lämmityksen sekä jäähdytyksen yhteistuotannosta. Tämän yhteistuotannon vuoksi Suomessakin muutamat energiayhtiöt tarjoavat erillISRatkaisuuina toteutettuina maalämpöpumppuihin ja energiakaivoihin perustuvia ratkaisuja.

5.3 Kustannukset

Tässä osiossa tarkastellaan selkeyttämisen vuoksi erikseen keskitettyyn tuotantoon soveltuvien ratkaisujen ja kiinteistökohtaiseen tuotantoon tarkoitettujen ratkaisujen kustannuksia. Keskitetyn tuotannon ratkaisuja tarkastellaan ensin, minkä jälkeen siirrytään kiinteistökohtaisiin ratkaisuihin.

5.3.1 Keskitetty tuotanto

Kustannustarkastelun tarkoituksena on vertailla lisäkapasiteetti-investointien kustannuseroja. Keskitetyn tuotannon kustannusvertailuihin valittiin kompressorijäähdytys, vapaajäähdytys pohjavesienergialla ilman lämpöpumppua sekä pohjavesienergian hyödyntäminen lämpöpumpun kanssa.

Pohjavesijäähdytysratkaisusta lämpöpumpun kanssa tarkasteltu ratkaisu ei ole aikaisemmin esitelty ratkaisu, vaan yhden ATES-kaivon yhteyteen toteutettu lämpöpumppuratkaisu. Eriteltyjen suunnitelmien mukainen lämpöpumppuratkaisu pohjautui kahteen ATES-kaivoon, mikä aiheuttaisi suuret lisäkustannukset toisen kaivon rakentamisen myötä. Pohjavesienergian hyödyntämisestä yrityksellä ei ole aikaisempaa kokemusta, joten koko ATES-järjestelmän kattava kertainvestointi olisi turha riski.

Laitinen toteaa jäähdytysteknologiaselvityksessään (Laitinen et al., 2016), että sorptiolaitteiden energian tulisi olla jopa yli viisi kertaa halvempaa, jotta ne olisivat energiakustannuksiltaan kannattavia yli 300 kW:n hintaluokassa. Nykyisessä tilanteessa kaukojäähdytyksen tuotantoa ei voida Pääräisten verkon osalta viedä kaukolämmön tuotannon lähelle, eikä korvaavaa halpaa lämpöenergiaa ole paikannettu, joten absorptiojäähdytys jätettiin pois keskitetyn tuotannon vertailusta. Kaukolämpöä olisi mahdollista hyödyntää absorptiojäähdytyksen tuotannossa, mutta silloin sijainnin tulisi olla rajatulla alueella, jossa läpi kesän kaukolämmön lämpötila säilyisi yli 70°C:n. Parhaiksi sijainneiksi, sijainnit 1 ja 2, määriteltyjen sijoituskohteiden olosuhteet myös vaativat absorptiojäähdytyksen tuottamiseksi lauhdutustehoa. Lauhdutukseen hyödynnetään usein esimerkiksi

järvi- tai merivettä. Kokemäen joen hyödyntäminen kuitenkin vaatisi suuret investoinnit eikä sen käyttäminen vapaajäähdytykseen ole jokiveden lämpötilojen vuoksi mahdollista.

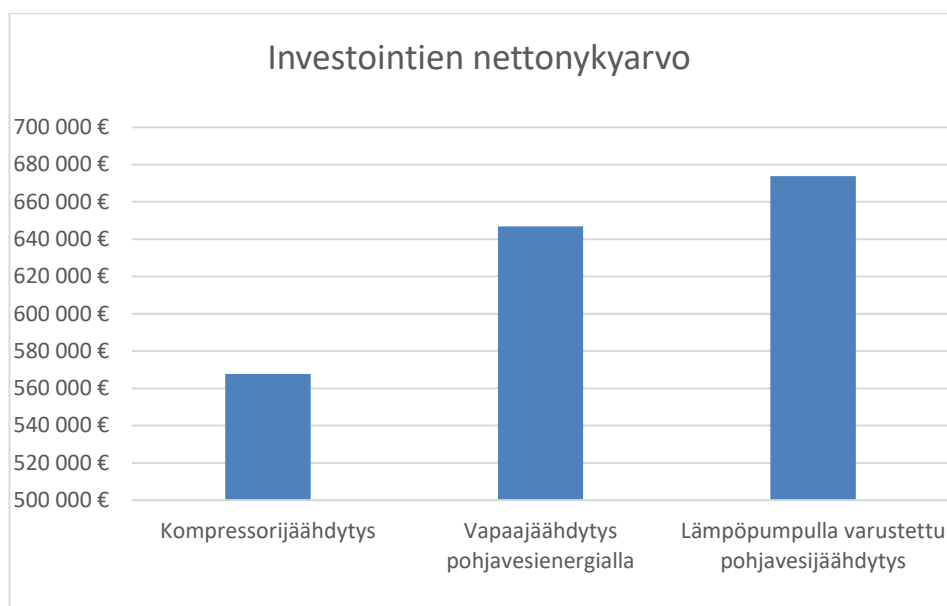
Keskitettyjen ratkaisujen osalta investointihintana kompressorijäähdyttimelle oli 150 000 €, pohjavesienergiaa hyödyntävälle vapaajäähdytysratkaisulle 270 000 € ja lämpöpumpua hyödyntävälle pohjavesijäähdytykselle 330 000 €. Laskelmissa tarkasteluaikana käytettiin kahtakymmentä vuotta, poistona 5% tasapoistoa. Primäärienergianlähteiden hintoina Pori Energia Oy:n kannattavuustarkasteluissa käytettäviä kustannuksia sekä tuottovaatimuksena 10,0 %.

Kompressori-investointi koskee 500 kW ratkaisua nykyisen jäähdytyskontin yhteyteen. Tällä tuotettaisiin huippukuorman vaatima lisjäähdytys. Pohjavesienergiaa vapaajäähdytykseen käyttävät ratkaisut taas muodostavat nykyisen käytössä olevan kompressoriratkaisun rinnalle huomattavasti kannattavamman ja ympäristöystävällisen vaihtoehdon peruskuorman tuottamiseen. Vapaa jäähdytykseen pohjautuvan ratkaisun tehona 150 kW ja lämpöpumppuratkaisun 350 kW. Pohjavesijäähdytystä hyödyntävien ratkaisujen huippukuormat tuotettaisiin nykyisen jäähdytyskontin avulla.

Laskelmissa ei ole huomioitu verkoston laajentamisen aiheuttamia kustannuksia. Laskentakorkokantatarkastelussa on käytetty modifioitua laskentakorkokantaa, jonka tarkoituksena on hahmottaa tilannetta, jossa saadut tuotot sijoitetaan edelleen yrityksen asettamalla tuottovaatimuksilla, ei investoinnin itsensä mukaisen korkokannan mukaan (Kierulff, 2017). Laskentatavassa lasketaan vuosittaisille kassavirroille niiden todellinen suuruus diskontattuna vakioarvolla, joka näissä laskennoissa oli tuottovaatimus.

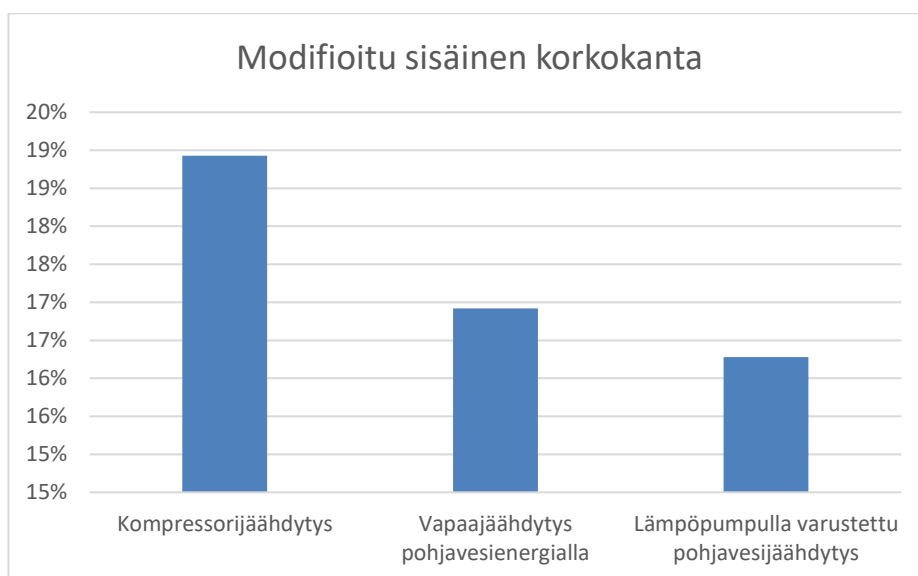
Laskentatavan etu verrattu perinteisempään sisäisen korkokannan tarkasteluun on se, että modifioitu laskentakorkokanta ei oleta, että vuosittaisella tasolla saatavat tuotot voidaan sijoittaa eteenpäin yhtä tehokkaasti kuin projektin alkuperäinen investointi. Näin saadaan pitkällä aikavälillä tarkasteltuna turvallisempi ennuste, joka ei nojaa varsinaisen laskennan arvioimaan sijoitustuottoon, vaan kassavirrat voidaan suhteuttaa aiemmin toteutuneisiin tai itse arvioituihin tuottosuhteisiin (Kierulff, 2017).

Kuvassa 11 on esitetty investointien nettonykyarvot. Nettonykyarvojen perusteella lämpöpumpulla varustettu pohjavesijäähdytys on kannattavin vaihtoehto jäähdytyksen tuottantotavaksi. Kulurakenteesta johtuva ero ei häviäisi pois, vaikka kustannuksiin saataisiin kustannusarviot jäähdytysverkon rakentamisesta, sillä verkon rakentamiskustannukset ovat jokaiselle tuotantomuodolle lähestulkoon samat. Lämpöpumpulla varustetun pohjavesijäähdytyksen muodostama ero johtuu kulutuksen tuottamisesta pitäen huipputuotannon sähkönkulutuksen mahdollisimman pienenä.



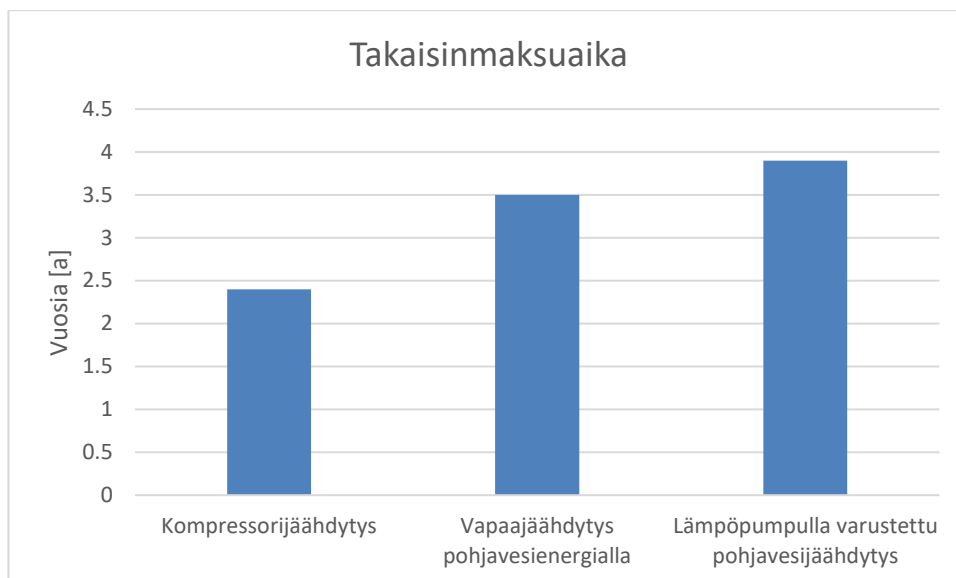
Kuva 11. Keskitettyjen tuotantoinvestointien nettonykyarvot

Nettonykyarvon lisäksi vertailtiin investointien modifioitujen sisäisen korkokannan eroja toisiinsa. Kuten jo mainittua, kuvassa 12 näkyvät sisäiset korkokannat eivät suuruudeltaan vastaa toteutuvaa, vaan osoittavat suhteellisia eroja. Sisäisen korkokannan tarkastelussa kompressorijäähdytyksellä on suurin sisäinen korkokanta (18.93). Lämpöpumppuratkaisulla on pienin modifioitu sisäinen korkokanta (16.28). Vapaajäähdytysratkaisun korkokanta (16.92) jää niiden väliin.



Kuva 12. Keskitettyjen tuotantoinvestointien modifioidut sisäiset korkokannat

Investointien takaisinmaksuaikavertailussa on modifioidun sisäisen korkokannan mukainen järjestys. Kompressoriratkaisulla lyhyin, vapaajäähdytys toiseksi lyhyin ja lämpöpumppuratkaisulla pisin takaisinmaksuaika. Takaisinmaksuajat ovat näkyvillä kuvassa 13.



Kuva 13. Keskitettyjen tuotantoinvestointien takaisinmaksuajat

Nettonykyarvon perusteella kannattavin tuotantomenetelmä on lämpöpumppua hyödyntävä pohjavesienergiaan perustuva ratkaisu. Sen nettonykyarvo on hieman alle 30 000 € suurempi kuin vapaajäähdytykseen perustuvan ja yli 100 000 € suurempi kuin kompressoriratkaisun. Modifioidun sisäisen korkokannan perusteella kaikki ratkaisut olisivat kannattavia, mutta pohjavesijäähdytykseen perustuvien ratkaisujen kokokannat ovat hieman pienemmät, kuin kompressoriratkaisun. Modifioituun sisäiseen korkokantaan vaikuttaa vahvasti investoinnin suuruus, joka on kompressoripohjaisen lisäkapasiteetin hankinnassa selkeästi pienin. Takaisinmaksuajat ovat pohjavesienergiaa hyödyntävillä ratkaisuilla alle neljä vuotta, kun kompressoriratkaisun takaisinmaksuaika on vain 2,4 vuotta. Takaisinmaksuajat kasvavat suorassa suhteessa investoinnin kokoluokan kanssa, koska tuotot ovat jokaisessa investoinnissa saman suuruiset.

5.3.2 Kiinteistökohtaiset ratkaisut

Kiinteistökohtaisista ratkaisuista kustannusvertailuun otettiin absorptiolla tuotettu ratkaisu, kompressoriratkaisu sekä lämpöpumppuun perustuva lämmön ja jäähdytyksen yhteistuotantoratkaisu. Kiinteistökohtaisten kustannusten perusteella tarkastellaan absorptiolla kaukolämmöstä ja kompressorilla sähkön avulla tuotettuja jäähdytysratkaisuja.

Talousvertailusta pudotettiin maalämpöpohjainen kiinteistökohtainen ratkaisu, sillä vaikka maalämpöjärjestelmä olisi mitoitettu 90% niin tarkastelulaskelmien mukaan jo toukokuun kohdalla tarpeen ja kapasiteetin suhde olisi 1033/374 eli 2,762. Maalämpöjärjestelmän jäähdytysosuuden on arvioitu olevan maksimissaan 2/3 maksimilämmitystehosta. Ylimoitettulla maalämpöpumpulla voisi olla mahdollista tuottaa tarvittava jäähdytysenergia. Ylimitoittaminen kuitenkin vaatisi lisäinvestointeja geoenergiakaivojen ja lämpöpumpun osalta. Maalämpöratkaisulla ei siis pystytä tavanomaisesti mitoitettulla

kiinteistökohtaisella erillISRatkaisulla vastaamaan jäähdytyksen huipputehontarpeeseen (Holopainen et al., 2010).

Investointikustannuksiltaan kompressoriratkaisu on kerrostalokokoluokan eli noin 50 kW:n jäähdytysratkaisuissa selkeästi edullisempi €/kW hintasuhteeltaan. Suuremman kokoluokan ratkaisujen osalta laskelmat on tarkastettava, mutta Porin keskustan alueella sijaitsevien kerrostalorakennusten vaatiman jäähdytystarpeen alueella kompressoriratkaisu on useimmiten edullisempi. Taulukossa 6 on esitelty Energiforsk AB:n tuottaman tutkimuksessa esitetyt €/kW-hinnat sekä absorptiokoneille, että kompressorijäähdyttimille (Sagebrand et al., 2015).

Taulukko 6. Absorptiokoneiden ja kompressorijäähdyttimien €/kW hinnat (Sagebrand et al., 2015)

Jäähdytysteho [kW]	Absorptiokone [€/kW]	Kompressor [€/kW]
15	1149	833
30	828	613
50	651	489
100	469	360
150	388	301
250	338	265
300	304	240

Absorptiokoneella ja kompressorijäähdyttimellä tuotetuista kiinteistökohtaisista ratkaisuista suoritettiin taloustarkastelut. Kiinteistökohtainen vertailu suoritettiin 50 kW:n laitteille. Investointihintana absorptiolaitteelle oli 32 541 € ja kompressorille 24 463 €. Laskelmissa tarkasteluaikana käytettiin kahtakymmentä vuotta, poistona 5 % tasapoistoa, kylmäkertoimina absorptiokoneelle 0,70 ja kompressorille 3,0, tuottovaatimuksena tarkasteluissa pidettiin 10,0 % ja primäärienergianlähteiden hintoina Pori Energia Oy:n kannattavuustarkasteluissa käytettäviä kustannuksia.

Esimerkkilaskelmien perusteella näistä vaihtoehtoista kompressoriratkaisu on kannattavampi. Taulukossa 7 on esitetty ratkaisujen nettonykyarvot, sisäiset korkokannat sekä takaisinmaksuaika. Kumpikaan ratkaisusta ei ole nettonykyarvoltaan positiivinen, eivätkä ne siis sen avulla tarkasteltuna ole kannattavia investointeja. Sisäinen laskentakorkokanta on absorptiokoneella hieman korkeampi, mutta kumpikaan ei vastaa asetettuun vaatimukseen. Takaisinmaksuaikoja kummallekaan vaihtoehdolle ei voitu laskea, sillä kannattamattomat investoinnit eivät maksa itseään takaisin.

Taulukko 7. Kiinteistökohtaisten absorptio- ja kompressoriratkaisujen vertailuarvoja

Vertailuarvo	Absorptio	Kompressor
Nettonykyarvo [€]	-2429	-976
Sisäinen laskentakorko-kanta [%]	8,65	9,23
Takaisinmaksuaika [a]	-	-

Kannattavuusraja-analyysien perusteella haettiin muutoksia vaihtoehtojen lähtöarvoihin, joilla jäähdytysvaihtoehdot näyttäytyisivät kannattavilta. Analyysseissa haettiin primäärienergian arvoja, joiden avulla investoinnit vastaisivat asetettuihin tuottovaatimuksiin.

Kompressorijäähdytin käyttää primäärienergianlähteenään sähköä. Sähkön hintana alku-peräisissä laskelmissa pidettiin 90,0 €/MWh. Sähkön hinta, jolla kompressorijäähdytin olisi tässä tapauksessa kannattava kiinteistökohtainen jäähdytysratkaisu olisi 85,12 €/MWh.

Absorptiolaitteet käyttävät lämpöä primäärienergianlähteenään. Tässä tapauksessa, oletettiin, että primäärienergianlähteenä toimii itse tuotettu kaukolämpö, jolle asetettiin tuotantokustannukseksi 22,5 €/MWh. Kaukolämmön tuotantokustannus saisi kuitenkin olla vain 19,63 €/MWh, jotta tämän kokoluokan absorptiojäähdytysratkaisu olisi kannattava.

Taloustarkasteluissa asetetuilla lähtöarvoilla kumpikaan esitellyistä tuotantotavoista ei näyttäytynyt kannattavana. Kaukojäähdytyksen erillISRatkaisujen tarjoaminen saattaa kuitenkin olla niin merkittävä osa jäähdytysasiakkaiden hankintaa, että niiden kohdalla olisi hyvä pohtia myös asetettua tuottovaatimusta, joka näissä tapauksissa on 10 %. Tuottovaatimuksen suhteen voisi jäähdytysliiketoiminnan alkuvaiheessa laskea, sillä jo 9,20 % tuottovaatimuksella kompressoriratkaisun nettonykyarvo nousee positiiviseksi ja tarkasteluarvot näyttäisivät investoinnin ylittävän kannattavuusrajan. Samanlainen vaikutus tapahtuu absorptioratkaisulle, kun tuottovaatimus laskee alle 8,60 %.

5.4 Tuotantolaitoksen mahdolliset sijainnit

Kaukojäähdytyksen keskitetyssä tuotannossa sijainnilla on suuri merkitys, sillä kiinteistökohtaisia ratkaisuja lukuun ottamatta tuotantolaitoksilta on rakennettava jäähdytysputket asiakkaiden kiinteistöihin asti. Pitkät etäisyydet ilman kuluttajia aiheuttavat energia-

yhtiölle suuria lisäkustannuksia, jotka voivat tehdä laajennusinvestoinnista kannattamattoman. Verkoston laajentamispäätöksen taustalla on siis oltava selvitystyötä, vahvoja perusteluja sekä kustannuslaskentaa.

Pori Energia Oy on arvioittanut Porin keskustan jäähdytyspotentiaalia aikaisemmin kahdella ulkopuolisella yrityksellä. Kuvassa 14 on esitelty heidän (Kuivala, 2012; Satosalmi & Malinen, 2014) tuottamissaan selvityksissään esiin nousseet keskitetyn jäähdytystuotannon potentiaaliset sijoituspaikat.



Kuva 14. *Potentiaaliset tuotantolaitosten sijainnit.*

Esitellyistä sijainneista käytössä ovat tällä hetkellä sijainnit 1 ja 6. Sijainnissa 1 on keskustassakin kulkevan Päämäisten verkon jäähdytyksen tuottava 1,5 MW jäähdytyskontti ja sijainnissa 6 on Tiilimäen verkon 3 MW tuotantolaitteet. Näiden sijaintien osalta siis investoinnit olisivat olemassa olevien laitoksien kapasiteetin suurentamista. Sijainneissa 2-5 ja 7 ei tällä hetkellä ole kaukojäähdytykseen liittyvää tuotantotoimintaa.

Sijainneissa 1 ja 6 jo olemassa olevien laitosten osalta keskitetyn tuotannon lisääminen tai tuotantoratkaisun muuttaminen ei vaadi verkostoinvestointeja, sillä tuotantolaitokset ovat jo kiinni verkossa. Sijainnissa 6 oleva Tiilimäen keskuksen suurimpana haittapuolena on etäisyys keskustan verkostosta. Sijainti 1 on puhtaasti sijaintinsa puolesta melko optimaalinen, sillä se on keskustassa kulkevassa verkossa kiinni.

Sijainti 2 on Radanvarren tontti, jossa Pori Energia Oy:n pääkonttorikin sijaitsee. Sijainti ei ole kovin kaukana verkosta, joten verkostoinvestoinnit ovat tällä sijainnilla kohtuulliset. Kohtuullisten verkostoinvestointien lisäksi sijaintia 2 tukee pohjaveden saatavuus.

Tontti sijaitsee pohjavesialueella ja pohjaveden hyödyntäminen jäähdyttämiseen on ympäristöystävällistä ja kustannustehokasta.

Sijainti 3 on vanhan oluttehtaan ympäristössä. Sijainti on lähellä verkostoa, joten verkostoinvestoinnit jäävät sijainnin osalta kohtuullisiksi. Alueella on myöskin vanhoja pohjavesikaivoja, joiden saanti on todettu käyttökelpoiseksi. Alueelle haasteensa asettaa ylipäätään tilan saaminen tuotantolaitokselle sekä alueen museoarvo. Alueen ympäristössä on hyvin paljon alueita, jotka on luokiteltu ympäristöllisesti sekä suojeluksellisesti 1. ja 2. luokan alueiksi, mikä aiheuttaa huomattavasti lisätyötä ja kustannuksia rakentamisen ja maanrakennuksen osalta. Sijainti on kuitenkin pohjavesialueella, mikä lisää mielenkiintoa sijainnin hyödyntämistä kohtaan.

Sijainti 4 on keskustan liiketilojen läheisyydessä. Sijainti on hyvin lähellä monia potentiaalisia kohteita, mutta kaukana muusta verkosta. Keskustassa jäähdytyksen tuottamisen vaatimien tilojen löytäminen on myös hyvin haastavaa. Vaikka sopivat tilat löytyisivätkin, vuokrauksen aiheuttamat kustannukset tekevät sijainnista kannattamattoman. Keskusta sijaitsee pohjavesienergiakäytön kannalta potentiaalisesti arvioidulla alueella, mutta lisätutkimuksia ei tässä sijainnissa ole tehty.

Sijainti 5 on Aittaluodon voimalaitoksen yhteydessä. Sijainti on suhteellisen kaukana verkosta ja kuluttajista, joten verkostoinvestoinnit ovat tämän sijainnin osalta suuret. Sijainnin suurin etu olisi voimalaitoksen läheisyys. Voimalaitoksen läheisyys mahdollistaa neljännen sukupolven kaukolämmön tuottamista. Tällä tarkoitetaan tuotantotapaa, jossa sähköä, lämpöä ja jäähdytystä tuotetaan energiatehokkaasti hyödyntäen energiaa mahdollisimman tehokkaasti (Lund et al., 2014). Aivan Aittaluodon kaakkoispuolella on potentiaalisesti pohjavesienergian hyödyntämiseksi luokiteltu alue ja alueella onkin havaittu ainakin runsasta orsiveden esiintymistä kaivamisen yhteydessä.

Sijainti 7 on Satakunnan ammattikorkeakoulun lähellä. Täällä sopivimmalle alueelle on edellisen arvion jälkeen jo rakennettu kerrostaloja, mikä vähentää sijainnin kiinnostavuutta. Sijainti muodostuu mielenkiintoiseksi siinä tapauksessa, jos Satakunnan ammattikorkeakoulu päättääkkin ottaa kaukojäähdytysliittymän. Tässä tilanteessa on kuitenkin pohdittava, onko lähituotannon järjestäminen vai verkoston laajentaminen kohteelle järkevää. Alue ei sijaitse pohjavesienergian kannalta potentiaalisella alueella.

Kaukojäähdytyksen keskitettyä tuotantoa ajatellen keskustassa kulkevan verkoston tuotannon parhaat sijainnit olisivat 1, 2 ja 3. Sijainnit ovat lähellä verkostoa, joten verkostoon liittymiseksi ei tarvitse rakentaa pitkiä matkoja putkia. Sijainneista 2 ja 3 tekee erittäin mielenkiintoiset mahdollinen pohjavesijäähdytyksen hyödyntäminen. Molemmat sijainnit ovat tutkituilla pohjavesialueilla. Sijainti 3 asettaa huomattavasti enemmän käytännön haasteita kuin sijainti 2, joten näiden kahden välillä sijainti 2 näyttää paremmalta.

Sijainnit 4, 5 ja 7 ovat tällä hetkellä liian kaukana verkostosta ja asiakkaista. Sijaintia 5 tulee harkita vain, jos jäähdytyskuormat nousevat niin suuriksi, että lämmön, sähkön ja

jäähdytyksen tuotannosta saadaan riittävää mittakaava- ja synergiaetua. Sijainti 6 tulee säilyttää vielä omana alueverkkonaan, sillä tiedossa ei ole asiakkaita, jotta verkostojen yhdistäminen olisi tällä hetkellä järkevää. Jos kaukojäähdytyksen suosio kasvaa huomattavasti koko keskustan alueella niin verkkojen yhdistämistä voidaan harkita. Sijaintien ominaisuudet on koottu taulukkoon 8.

Taulukko 8. Sijaintien ominaisuuksien yhteenveto.

Sijainti	Verkostolaajennuksen tarve	Pohjavesienergian hyödyntämismahdollisuus	Muita huomioita
1	Tuotantokäytössä, ei laajennustarvetta	Ei ole	Laajennus vain kapasiteetin suurentamista
2	Verkoston läheisyydessä, noin 250 metriä	On, saantomäärää ei ole vahvistettu	Erittäin potentiaalinen pohjavesialue oman toimipisteen tontilla
3	Verkoston läheisyydessä, hieman yli 100 metriä	On, pohjavettä on aikaisemmin hyödynnetty	Museoarvoa, vaikeuttaa toimintaa, tilan hankinta haasteena
4	Kaukana verkostosta, noin 1 km	Mahdollisesti, ei varmistettu	Tilojen hankkiminen haastavaa ja hintavaa
5	Kaukana verkostosta, noin 2 km	Osittain pohjavesialueella, ei vahvistettua tietoa	Yhdistetyn kaukolämmön, kaukojäähdytyksen ja sähköntuotannon mahdollisuus
6	Kaukana Päärnäisten verkostosta, noin 1,5 km. Tiilimäen verkostossa tuotantokäytössä	Ei ole	Mahdollinen lisäkapasiteetin tarve. Tilojen riittämättömyys esteenä suurille laajennuksille
7	Kaukana Päärnäisten verkostosta, n 2 km	Ei ole	Tuotantokapasiteetin kasvattamisen lisäksi suurimmat verkostoinvestoinnit

5.5 Valtakunnallisen kyselyn tulokset

Tutkimus antoi tuloksia, jotka omalta osaltaan saattavat indikoida tulevaisuudessa kysyntää tai potentiaalisia markkinamahdollisuuksia kaukojäähdytykselle. Esimerkiksi kysymykseen ”Jäähdytetäänkö kiinteistöjänne tai tilojanne jotenkin?” vastattiin kuvan 15 osoittamalla tavalla. Tulos paljastaa ainakin sen, että potentiaalisia kaukojäähdytyksen piiriin liitettäviä rakennuksia pitäisi olla toiminnan kannattavuutta pohtiessa saatavilla riittävästi, kunhan kaukojäähdytyksestä vain luodaan varteenotettava ja houkutteleva jäähdytysvaihtoehto. Ennusteiden mukaan jäähdytyksen tarve tulee nousemaan tulevaisuudessa huomattavasti, jolloin jäähdyttämättömätkin kiinteistöt alkavat kiinnostumaan erilaisista jäähdytysvaihtoehdoista (*Kiinteistöjen jäähdytystarpeet tulevaisuudessa - Pro Cooling Future: Finland*, 2013).



Kuva 15. Vastaajien omistamien kiinteistöjen aktiivisen jäähdyttämisen taso Kiinteistöjen jäähdytystarpeet tulevaisuudessa -kyselyn tuloksia mukaillen (Kiinteistöjen jäähdytystarpeet tulevaisuudessa - Pro Cooling Future: Finland, 2013)

Kyselyn tuloksia on hyvä tarkastella erillisten kysymyksien lisäksi yhtenä kokonaisuutena ja näin luoda kuvaa markkinoiden tarpeista. Näiden tarkasteluiden päätavoitteena on löytää ominaisuuksia tai tekijöitä, jotka vaikuttavat asiakkaiden ostopäätöksiin. Tarkastelun avulla pyrittiin erottamaan jäähdytysmarkkinoilta Hill & Hill'in mallin mukaisia toimintaa rajoittavia tai tilauksia voittavia tekijöitä.

Kyselyssä selvitettiin vastaajien mielipiteitä kaukojäähdytyksestä. Vastaajilta kysyttiin ”Mikä on mielestänne kaukojäähdytyksen suurin etu verrattuna kiinteistökohtaiseen jäähdytykseen?”. Kuvassa 16 vastaajille tarjotut vaihtoehdot ja vastausten jakauma. Vapaat vastaukset olivat kyselyssä sallittuja ja tämän kysymyksen kohdalla saatiin vain kaksi kappaletta negatiivisia vapaita vastauksia ja ne olivat ”En juuri näe hyviä puolia” sekä ”En näe siinä etua, energiayhtiö vain nostaisi hintoja.”. Valtaosa kysymyksen vastauksista oli positiivisia asioita, kuitenkin 46 kappaletta vastaajista valitsi ”En osaa sanoa”-vaihtoehdon. Positiivisimpina asioina vastaajat pitivät huolettomuutta, luotettavuutta sekä edullisuutta. Vastaajilla on näiden tulosten perusteella keskimäärin myönteinen mielikuva kaukojäähdytyksestä, mikä luo positiivista odotusarvoa kaukojäähdytyskapasiteetin kasvattamisen kannattavuudelle (Kiinteistöjen jäähdytystarpeet tulevaisuudessa - Pro Cooling Future: Finland, 2013).



Kuva 16. Vastaajien mielipide kaukojäähdytyksestä verrattuna kiinteistökohtaiseen jäähdytykseen mukailten *Kiinteistöjen jäähdytystarpeet tulevaisuudessa -kyselyn tuloksia (Kiinteistöjen jäähdytystarpeet tulevaisuudessa - Pro Cooling Future: Finland, 2013)*

Tuotantostrategian arvojen kannalta kysymyksen vastaukset ohjaavat tuotteilta vaadittujen ominaisuuksien osalta luotettavuuden ja kustannuksien suuntaan, sillä useasti mainitut edut, huolettomuus ja toimintavarmuus liittyvät yleisemmin luotettavuuteen ja edullisuuden merkitys johtaa suoraan kustannusten suureen merkitykseen. Kysymyksessä haettiin kaukojäähdytyksen etuja, jolloin vastauksena saadut tulokset kuvaavat joko tilauksia voittavia tai toimintaa rajoittavia ominaisuuksia. Tärkeimpiä vaikuttavia asioita ovat kysymyksen vastausten perusteella luotettavuus ja kustannukset.

Kun kyselyyn osallistuneilta kyseltiin suurimpia puutteita tai mietityttäneitä kysymyksiä, suurin osa asiakkaiden vastauksista jakautui kolmeen kategoriaan, jotka ovat näkyvillä kuvassa 17 (*Kiinteistöjen jäähdytystarpeet tulevaisuudessa - Pro Cooling Future: Finland, 2013*). Näiden ryhmittelyjen lisäksi kyselyssä annettiin en osaa sanoa -vastauksia sekä hajavastauksia, jotka liittyivät lähinnä yksittäistapausten olosuhteisiin.



Kuva 17. Kyselyyn osallistuneiden vastaukset mukaillen *Pro Cooling Future* -jäähdytyskyselyä (*Kiinteistöjen jäähdytystarpeet tulevaisuudessa - Pro Cooling Future: Finland, 2013*)

Hintaa koskevat vastaukset siis liittyivät useimmiten kysymyksiin käyttökustannuksissa. Niiden suuruus ja riippuvaisuus niiden vaihtelusta mietityttivät ihmisiä.

Investointikustannuksien osalta negatiivista palautetta antoivat vanhempien kerrostalojen kiinteistöpäälliköt, mikä on odotettua, sillä kaukojäähdytyksen ottaminen vanhempaan kiinteistöön, ilman tarvetta yleiselle peruskorjaukselle tuntuu usein kohtalaisen suurelta investoinnilta.

Kapasiteetin ja verkoston laajuuteen liittyvät pohdinnat olivat epätietoisuutta saatavuudesta, kapasiteetin riittävyyden pohdintoja sekä vikatilanteisiin liittyvien aikavasteiden mietintää. Verkostolta kaivattiin laajentumista ja kapasiteetilta kaivattiin lähinnä toimitusvarmuutta eli luotettavuutta. Monia vastaajia huoletti esimerkiksi kapasiteetin riittäminen huippukäytön hetkinä. Osa vastaajista totesi esteenä kaukojäähdytyksen ottamiselle olevan yksinkertaisesti sen saatavuus. Tämä johtuu kaukojäähdytysjärjestelmän luonteesta, eli jos asiakas ei sijaitse verkoston ulottuvissa on kaukojäähdytystä melko mahdotonta tarjota.

Kyselyn vastauksista löydettiin Hill & Hill'in viitekehysten kuvailemia tekijöitä. Selkeästi voimakkaimmin vaikuttavat tekijät olivat luotettavuus, saatavuus ja kustannukset. Usein kaukojäähdytyksen toimintavarmuus todettiin kelvolliseksi, mutta hinta vei kiinnostusta muiden tuotteiden pariin. Tämä tarkoittaa luotettavuuden olevan toimintaa rajoittava tekijä, jonka osalta ollaan kuitenkin kaukojäähdytyksen kanssa siedettävällä tasolla. Saatavuus on selkeästi toimintaa rajoittava tekijä. Kaukojäähdytyksen osalta saatavuus Porin keskustan alueella ei ole parhaalla mahdollisella tasolla, sillä sen saatavuus on

täysin riippuvainen jakeluverkoston laajuudesta. Kustannukset luokiteltiin tilauksia voitavaksi tekijäksi, koska hintaa pidettiin useimmiten esteenä kaukojäähdytykseen siirtymiselle.

5.6 Isännöitsijäkyselyn tulokset

Isännöitsijöiltä kysyttiin, jäähdytetäänkö heidän kiinteistöjään. Tähän 11 isännöitsijää vastasi kyllä. Tässä tilanteessa yli puolet kiinteistöistä olisi jo jäähdytyksen piirissä. Kun jäähdyttämiseen liittyvää kysymystä tarkennettiin kysymällä, ”Millaisia jäähdytysratkaisuja teillä on tällä hetkellä käytössä” vastaukset olivat kuvan 18 mukaisia. Selkeästikään siis koko kiinteistön kattavia jäähdytysjärjestelmiä ei ole vielä otettu suurissa määrin käyttöön.



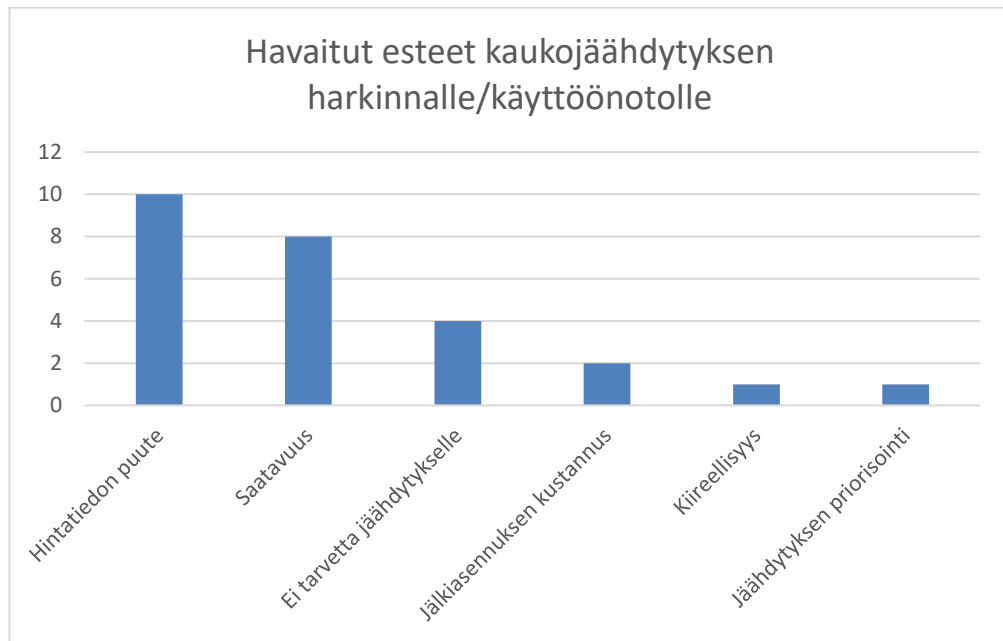
Kuva 18. Isännöitsijäkyselyn vastauksen kysymykseen ”Millaisia jäähdytysratkaisuja teillä on tällä hetkellä käytössä”

Taloyhtiöissä on lähinnä myönnetty periaatelupia asentaa asuntokohtaisia lämpöpumppeja, samalla pitäen huolta julkisivusta. Asuntokohtaisille lämpöpumpuille on annettu asennuslupia ylimääräisillä vaatimuksilla, kuten ulkoyksikön parvekesijoitukselle. Asuntokohtaisten lämpöpumppujen massa-asennusten yhteydessä on otettu huomioon julkisivun haittojen minimointi. Lämpöpumppujen massa-asennukset aiheuttavat sen, että vaikka vain puolet taloyhtiöstä kiinteistön omistavista päättää hankkia lämpöpumpun jäähdytysratkaisuksi, se samalla eliminoisi kaukojäähdytyksen kyseisen taloyhtiön lähitulevaisuuden ratkaisuna, koska päättäjistä suuri osa on jo investoinut henkilökohtaiseen jäähdytysratkaisuun.

Isännöitsijöistä 10 ilmoitti, että he ovat huomanneet kasvavan jäähdytystarpeen. Heistä 6 totesi kasvaneen jäähdytystarpeen olleen suora piikki kesän 2018 kuumista helleaalloista.

5 Isännöitsijää vastasi aktiivisesti suunnittelevansa jonkin jäähdytysjärjestelmän käyttöönottoa. Näistä viidestä isännöitsijästä kaikki suunnittelivat asuntokohtaisten lämpöpumppujen asennuksen periaatelupien myöntämistä. Jäähdytyksen suunnittelun todettiin isännöitsijän toimesta yleisesti jääneen jokseenkin keskustelutasolle.

Isännöitsijöiltä kysyttiin ovatko he harkinneet kaukojäähdytystä, tähän 7 vastasi kyllä. Kaukojäähdytyksen epäkiinnostavuuden tarkentamiseksi selvitettiin, mikä on ollut esteenä kaukojäähdytyksen harkinnalle/käyttöönotolle. Kuvassa 19 vastaukset on esitettyä kaukojäähdytyksen valinnalle havaitut suurimmat esteet.



Kuva 19. Haastatteluissa havaitut esteet kaukojäähdytyksen harkinnalle/käyttöönotolle.

Hintatiedon puute eli potentiaalisten asiakkaiden kustannuksiin tai tuotteeseen liittyvä hämmennys tarkoittaa usein ongelmia yrityksen sisältä lähtevän markkinointiviestin kanssa (Grönroos & Tillman, 2009). Kun isännöitsijöiltä kysyttiin mielipidettä Pori Energia Oy:n kaukojäähdytykseen liittyvästä tiedottamisesta, vastaukset jakautuivat kuvan 20 mukaisesti.



Kuva 20. Isännöitsijöiden mielipiteet kaukojäähdytyksen tiedottamisesta.

Tiedottamiseen liittyvät myös vastaukset, kun kysyttiin jotakin konkreettista asiaa, jolla Pori Energia Oy voisi luoda kaukojäähdytyksestä varteenotettavamman jäähdytysratkaisun. Kysymykseen kahdellatoista vastaajalla ei ollut konkreettista keinoa ja viidestä vastanneesta kaikkien vastaukset liittyivät markkinoinnin, tiedottamisen ja myynnin parantamiseen.

Isännöitsijöiden mielikuvaa kaukojäähdytyksen luotettavuudesta kysyttiin. Kuvassa 21 esitettynä isännöitsijöiden kaukojäähdytyksen luotettavuuden mielikuva. Huomattavan suuri osa siis pitää kaukojäähdytystä luotettavana.



Kuva 21. Isännöitsijöiden mielikuvat kaukojäähdytyksen luotettavuudesta.

5.7 Kyselyjen vertailu

Aiemmissa kappaleissa esiteltiin Global research and data services:in suorittaman valtakunnallisen kyselyn sekä paikallisesti suoritetun kyselyn tuloksia. Seuraavaksi kyselyn

tuloksia tarkasteltiin, jotta nähtäisiin pätevätkö Porin jäähdytysmarkkinoilla samankaltaiset lainalaisuudet, kuin yleisemmällä tasolla jäähdytysmarkkinoilla.

Jäähdytystä aktiivisesti hyödyntävien kiinteistöjen käyttämien jäähdytysratkaisujen osalta Porissa esiintyi kaukojäähdytystä, asuntokohtaisia lämpöpumppuja sekä jäähdytystornin ja konvektorien avulla toteutettu ratkaisu. Valtakunnallisessa tutkimuksessa esiintyi hieman useampia ratkaisuja. Tuloksissa mainittiin muun muassa kaukojäähdytys, lämpöpumput, isot ilmanvaihtokoneet, maajäähdytys sekä sähkötoimiset kompressorit. Isommassa kuvassa on siis käytössä monipuolisemmin jäähdytysratkaisuja.

Määrällisesti tulokset näyttävät siltä, että jäähdytystä käytetään enemmän. Valtakunnallisella tasolla 8 % vastasi jäähdyttävänsä ja paikallisesti jopa 64 % vastaajista samoin. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että paikallisen kyselyn vastaajina olivat isännöitsijät, jotka tietävät tarkemmin, jopa asuntokohtaisten lämpöpumppujen käytöstä, joita heidän jäähdytysratkaisuihinsa oli 81 %. Valtakunnallisen kyselyn vastaajissa suurin ryhmä taas oli kiinteistöpäälliköt, joilla ei välttämättä näin yksityiskohtaista tietoa ole, vaan he keskittyvät suuremman kokonaiskuvan hallintaan. Näin ollen heidän näkökulmastaan jäähdyttämistä ovat lähinnä kokonaisten tilojen tai kiinteistöjen kattavat ratkaisut. Koko kiinteistön kattavia jäähdytysratkaisuja paikallisessa kyselyssä vastasi hyödynnettävän 11 % vastaajista.

Paikallisen kyselyn vastaajista kiinteistökohtaisia järjestelmiä hyödynnettiin vain uusissa kerrostaloissa, joiden lisäksi jäähdytystä on käytössä myös sairaaloissa. Valtakunnallisen kyselyn tuloksissa tällaisia järjestelmiä hyödynsivät muun muassa uudet kerrostalot, hoitolaitokset, sairaalat, uudet toimistot, hotellit sekä osa vanhoista rakennuksista. Jäähdytystä hyödyntävät kohteet ovat siis perusluonteeltaan samankaltaisia eli uusia rakennuksia sekä suurempia toimijoita, kuten sairaaloita. Paikallisessa kyselyssä kaukojäähdytystä ei ollut jälkiasennettu vielä yhteenkään vanhempaan kerrostalorakennukseen.

Suurimmat syyt kaukojäähdytyksen käyttämättömyydelle olivat paikallisen kyselyn mukaan saatavuus, jäähdytystarpeen puute, hinta ja jälkiasennuksen kustannukset. Kaksi viimeistä olivat esteitä varsinkin siinä mielessä, että niiden osalta 58 % vastaajista oli olemassa hintatiedon puute. Sama kiinteistökohtaisen jäähdytyksen ja kaukojäähdytyksen kokonaiskustannusten eroavaisuuden epätietoisuus löytyi valtakunnallisen haastattelussa 55 % vastaajista. Saatavuus oli myös valtakunnallisessa haastattelussa selkeä teema kaukojäähdytyksen esteissä. Paikallisten tuloksien tavoin, myöskin jälkiasennukset kustannukset saivat pienen edustuksen esteistä puhuttaessa. Esteiden osalta paikalliset markkinat käyttäytyvät samansuuntaisesti, kuin yleiset jäähdytysmarkkinat.

Kyselyissä kysyttiin keinoja, joilla energiayhtiöt voisivat tehdä itsestään varteenotettavamman kumppaniehdokkaan jäähdytysratkaisujen osalta. Valtakunnallisella tasolla vahvimmat ehdotukset olivat markkinoinnin parantaminen, tiedotuksen lisääminen, hinnoit-

telun järkevöittäminen sekä verkoston laajennus. Paikallisesti kysymykseen vastattiin hyvin passiivisesti, johtuen todennäköisesti kaukojäähdytykseen liittyvästä epätietoisuudesta. Vastauksista löytyi selkeästi useimmin markkinoinnin parantaminen sekä tiedotuksen lisääminen. Kyselyjen tulokset ovat siis osittain vastaavia, valtakunnallisella tasolla on enemmän käyttäjiä sekä asiakkaita, joten sieltä saatiin monipuolisemmin vastauksia.

Valtakunnallisessa kyselyssä jäähdytysratkaisujen käyttöönottoa suunnitteli 94 % vastaajista. Määrä on suhteessa paikallisen kyselyn tulokseen huomattavan suuri, sillä paikallisessa kyselyssä vain 29 % suunnitteli jonkin jäähdytysjärjestelmän käyttöönottoa aktiivisesti taloyhtiötasolla. Keskusteluasteella jäähdytysratkaisut olivat paikallisesti 47 % vastaajista. Paikalliset suunnitelmat koskivat vain asuntokohtaisten lämpöpumppujen asennusten periaatelupien myöntämistä ja niihin liittyvien ratkaisujen pohtimista. Tämän suhteen vastaukset eroavat huomattavasti, sillä valtakunnallisessa kyselyssä suunniteltiin kaukojäähdytyksen, jäähdytyksen oman tuotannon sekä erilaisten taloteknisten järjestelyjen käyttöönottoa. Vastausten perusteella siis voisi päätellä, ettei paikallisesti ole havaittu vielä niin suurta jäähdytystarvetta, että aktiivisiin suunnittelutoimiin olisi ryhdytty. Kuitenkin 52 % paikallisen kyselyn vastaajista totesi huomanneena jäähdytystarpeen kasvaneen tiloissa, joissa ei vielä aktiivisesti hyödynnetä minkäänlaisia jäähdytysratkaisuja.

Valtakunnallisen haastattelun perusteella kaukojäähdytyksen suurimmaksi eduksi todettiin huolettomuus, joka muodostuu luotettavuuden kautta. Paikallisen kyselyn avulla selvitettiin kaukojäähdytyksen mainetta alueella ja niiden mukaan 76 % pitää kaukojäähdytystä luotettavan tapana tuottaa kaukojäähdytystä. Lopuista 24 % yksikään ei vastannut pitävänsä kaukojäähdytystä epäluotettavana. Näiden vastauksien joukossa oli epätietoisuutta sekä vastaushaluttomuutta. Paikallisesti kaukojäähdytyksen luotettavuuden maine on siis hyvällä tasolla.

Kyselyjen tulokset osoittivat hyvin paljon samankaltaisuutta. Selkeitä eroavaisuuksiakin löytyi esimerkiksi suunnitteluaktiivisuudessa. Kokonaisuutena kyselyt antavat viitteitä siitä, että Porin keskustan jäähdytysmarkkinat toimivat ainakin monilta osin samankaltaisesti, kuin Suomen jäähdytysmarkkinat yleisellä tasolla.

5.8 Pohjavesijäähdytyksen hyödynnettävyys

Pohjavesijäähdytyksen toteuttamiselle muodostuu tiettyjä rajoitteita, jotka saattavat tehdä pohjavesienergian hyödyntämisestä mahdotonta tai kannattamatonta. Tällaisia kriittisiä rajoitteita ovat pohjavesisaannon suuruus, tuotetun jäähdytysveden lämpötila sekä vesi- ja ympäristölupien saaminen.

Pohjavesisaannon suuruus vaikuttaa kriittisesti järjestelmän kannattavuuteen. Saannon jäädessä liian pieneksi, ei tuotannon jäähdytysteho yksinkertaisesti riitä vastaamaan käytön energiavaatimuksiin. Saantomäärä selviää paremmin, kun tarkkailuputket on asennet-

tu ja mittauksista saadaan tuloksia. Porin Oluttehdas Oy:n aikaisemmin suorittamissa mittauksissa vanhan oluttehtaan alueella saanto on ollut selkeästi suurempaa, kuin arvioitu tarvittava määrä, joten saannosta ei uskota muodostuvan ongelmaa.

Pohjavettä hyödynnettäessä alle 250 m³ päivässä ei tarvita vesilain mukaista lupaprosessia (Arola & Isa, 2018). Projektissa suunniteltu toteutus vaatii toimiakseen arvioidusti vähintään 500 m³ pohjavettä jatkuvassa päivittäisessä käytössä (Kauppila, 2018). Vedenottolupa tai tarkkailusuunnitelman hyväksyntä on siis hankittava viranomaiselta. Aikaisemmin keskustan alueella pohjavettä on hyödyntänyt Porin Oluttehdas Oy, jolle myönnettyssä luvassa on määritlään pohjavesijäähdytyksen tuotantoon riittävät kuutio-määrät. Koska tällainen lupa on aikaisemmin myönnetty, eikä hyväksyttyä ottomäärää nykyään hyödynnetä, ei lupien epäämistä pidetä todennäköisenä.

Tuotetun jäähdytysveden lämpötila vaikuttaa suunnitelmiin merkittävästi. Jos suunnitellut lämpötilat jäävät liian suuriksi, ei jäähdytyskontin ja pohjavesijäähdytyksen yhdistelmä esitellyllä konttipriimauksella toimi kunnolla. Lämpötilatarpeen määrittelevät asiakkaiden, tässä kohtaa kaupunginsairaalan, kanssa tehdyt kaukojäähdytyssovimukset. Tavoiteltu toimitettu lämpötila on 8 C°. Tällöin pohjaveden vapaajäähdytys jäisi käytännössä vain keskustan jäähdytyskäyttöön, mikä ei ole toivottava tilanne.

Pohjavesipotentiaalin selvittämiseksi vaadittiin erilaisia tutkimuksia ja näytteenottoja. Aluksi Radanvarren toimipisteelle porattiin kolme kappaletta noin 30-50 metriä syviä reikiä, joihin asennettiin pohjaveden tarkkailupisteet. Porauksien aikana otettiin maaperänäytteitä, jotka lähetettiin analysoitavaksi. Maaperänäytteiden analysoinnilla pyrittiin muun muassa selvittämään, onko maaperä muodostunut sopivasti vettä läpäisevästä aineksesta, jotta pohjavesijäähdytyksen vaatimat virtaukset toteutuvat.

Poraukset suoritettiin yhteistyössä Mitta Oy:n kanssa ja porauksissa käytettiin GM200 Poravaunua. Tarkkailupisteiden sijaintipaikat on merkattu ja numeroitu kuvaan 22 punaisilla ympyröillä.



Kuva 22. Pohjaveden tarkkailupisteiden sijainnit kartalla.

Maaperänäytteiden jälkeen tarkkailupisteiltä mitattiin vedenpintojen ja suojaputkien korkeudet sekä otettiin pohjavedestä vesinäytteet tarkkailukaivosta yksi (1). Vesinäytteiden tarkoituksena oli haitallisten aineiden pitoisuuksien tutkiminen. Tällaisia ovat esimerkiksi saostumista aiheuttavat mangaani sekä rauta (Arola & Isa, 2018). Vesinäytteiden ottamisen yhteydessä otettiin myös lämpötilamittaukset, jotta saataisiin tietää minkä asteisena pohjavettä saadaan käyttöön.

Tutkimustulokset olivat pohjavesijäähdytyksen kannalta kohtuullisia. Haitallisten aineiden pitoisuuksia ei havaittu hälyttäviä määriä. Pohjaveden lämpötilaksi arvioitiin 6,5 - 7,0 °C. Arvioituilla lämpötiloilla vapaajäähdytyksen avulla tuotetun kaukojäähdytyksen menovedeksi saataisiin noin 9 °C. Lämpötila on nykyisillä mitoituksilla riittävä tuottamaan peruskuormaa, mutta huippujäähdytykseen sitä on haasteellista käyttää. Lämpöpumppujäähdytyksen myötä lämpötila ei aiheuta toteutusriskiä. Lämpöpumpun käyttämisen myötä pohjaveden virtauksesta ja saantomäärästä tulee jäähdytyksen määrää rajoittava tekijä.

Pohjaveden saantomäärän osalta arvio jäi suhteellisen suurpiirteiseksi, sen arvioitiin olevan 500 - 1500 m³. Pohjaveden saantomäärä tarkentuu, kun rakennetaan ensimmäinen ATES-kaivo ja suoritetaan vähintään kuuden viikon pituinen koepumppausjakso. Tällä asteikolla saataisiin Kauppilan suunnitelmien mukainen määrä jäähdytystä, mutta on huomattavasti todennäköisempää, että saanto on suurempi kuin alin arvioitu määrä.

Radanvarren pohjavesiesiintymän hyödyntäminen osoittautui mittaustulosten perusteella mahdolliseksi. Vesinäyteanalyysien perusteella sakkaongelmia aiheuttavia rautaa ja mangaania ei löytynyt liikaa. Tutkimustulokset löytyvät liitetiedostosta (LIITE B). Mangaanin ja raudan pitoisuuksille ei löydetty tutkittuja saostumisrajoja, mutta vesinäytteiden

tutkimustulokset tarkasti Geologian tutkimuskeskukselta geoenergian johtava asiantuntija Teppo Arola, eikä hän ilmaissut tulosten estävän pohjaveden hyödyntämistä.

Pohjaveden lämpötilan arvioitiin olevan 6,5 - 7,0 °C välillä. Tästä voitaisiin tuottaa vapaajäähdytyksellä lämmönsiirtimien avulla noin 9,0 °C jäähdytysvettä. Näillä lämpötiloilla vapaajäähdytyksellä tuotannossa tulee huippukäytön aikaan haasteita, mutta lämpöpumppua hyödyntäen jäähdytysverkostossa kiertävä jäähdytysvesi on jäähdytettävissä avulla asiakkaille luvattuun 8°C ja myös matalampiin lämpötiloihin vastaamaan mahdollisiin huippujäähdytyksen tarpeisiin.

Pohjaveden saantomäärän tarkkaa tietoa ei vielä varmistettu, mutta sen arvioitiin olevan minimissään Kauppilan raportissaan (Kauppila, 2018) arvioiman hyötykäytön vaatiman 500 m³. Kauppilan raportissa esitetyt kannattavuuslaskennat ja tarkastelut perustuvat oletuksiin ja arvioihin. Arolan mukaan vasta koepumppauksen jälkeen voidaan suorittaa pohjavesijäähdytyslaitoksen varsinainen kannattavuuslaskenta (Arola & Isa, 2018). Koepumppaus ja sen tulokset jäävät tästä työstä pois. Koepumppaukset on tarkoitus suorittaa kesällä 2019 ja työn tavoiteltu valmistuspäivämäärä tulee vastaan ennen koepumppauksien suorittamista.

Pohjavesijäähdytyksen hyötykäytön selvitysprojektin alussa pohdituista rajoitteista yksikään ei tämän diplomityön kirjoittamisen aikana realisoitunut estämään pohjavesienergian hyötykäyttöä. Pohjavesienergian lämpötila kuitenkin ohjasi tuotantovalintaa lämpöpumppupohjaisen ratkaisun suuntaan.

6. TUOTANTOSTRATEGIAN MUODOSTAMINEN

Tässä kappaleessa muodostetaan varsinainen kaukojäähdytyksen tuotantostrategia. Tuotantostrategian muodostamiseen hyödynnetään aikaisemmin esiteltyä Hill & Hill:in muodostamaa viitekehystä. Viitekehysten mukaisesti ensin suoritetaan markkinoiden valinta ja tarkastellaan niiden tilauksia voittavia sekä toimintaa rajoittavia tekijöitä, minkä jälkeen havaittuja asioita verrataan nykytilanteeseen ja pyritään löytämään kehityskohteita.

6.1 Markkinoiden valinta

Kaukojäähdytystä on kannattavinta tuottaa tiheään asutetuilla alueilla, kuten kaupunkien keskustoissa. Kaukojäähdytyksen osalta tärkeimmäksi sijainneiksi osoittautuivat ydinkeskustan, kaupunginsairaalan ja keskussairaalan alueet. Lähtökohtaisesti tärkeimmiksi toimialueiksi valittiin siis nykyisten verkkojen läheiset alueet sekä ydinkeskustan alueet.

Tavoiteltavaksi kaukojäähdytyksen markkinoiksi valittiin kerrostalojen, liikekiinteistöjen sekä suurten kompleksien kuten sairaaloiden jäähdytysmarkkinat. Sairaaloiden osalta sekä kaupunginsairaala, että keskussairaala hyödyntävät kaukojäähdytyksen palveluita, joten niiden osaltaan toiminta on nykyisen toiminnan säilyttämistä sekä myynnin kasvattamista. Kerrostalojen sekä liikekiinteistöjen jäähdytysmarkkinoiden osalta kaukojäähdytyksen osuutta ei ole vielä saatu kasvatettua riittävän suureksi, joten tällä alueella strategian tavoitteena on selkeä markkinaosuuden kasvattaminen uusiasiakkaiden parissa.

6.2 Tilauksia voittavat ja toimintaa rajoittavat tekijät

Valituilta markkinoilta etsittiin tilauksia voittavia ja toimintaa rajoittavia tekijöitä tarkastelemalla aikaisemmin Suomessa tehtyjä kaukojäähdytykseen liittyviä kyselyjä ja niiden vastauksia. Aikaisemmin tehtyjen kyselyjen lisäksi suoritettiin kysely Porissa toimivien isännöitsijöiden keskuudessa.

Erilaisia merkitseviä tekijöitä olivat saatavuus, luotettavuus, hinta, investointikustannukset ja markkinointi. Nämä tekijät lajiteltiin vaikutuksensa mukaan tilauksia voittaviin ja toimintaa rajoittaviin tekijöihin. Toimintaa rajoittaviin tekijöihin kuuluvat saatavuus, luotettavuus ja markkinointi. Tilauksia voittaviin tekijöihin luokiteltiin hinnoittelu, investointikustannukset.

Saatavuuden toimintaa rajoittavana tekijänä tarkoittaa kaukojäähdytyksen osalta kaukojäähdytysverkoston laajuutta. Saatavuus on jo aiemmin uusille alue-energia verkoille tunnistettu toiminnan alkuvaiheessa toimintaa rajoittava tekijä. Saatavuutta on tarkasteltava jäähdytysverkkojen kattavuuden ja arvioitujen toiminta-alueiden vastaavuuden avulla.

Toinen toimintaa rajoittava tekijä oli markkinointi. Rajoittavana tekijänä markkinointi tarkoittaa asiakkaan tiedonsaannin riittävyyden varmistamista. Kaukojäähdytys Porin keskustan alueella on vielä alkuvaiheessa, jolloin tiedotuksen riittävyydellä varmistetaan, että mahdollisimman suuri osa potentiaalisista asiakkaista on tietoinen kaukojäähdytyksen tarjonnasta.

Kolmas toimintaa rajoittava tekijä oli luotettavuus. Luotettavuus kaukojäähdytyksessä tarkoittaa jatkuvan toimittamisen varmistamista. Kaukojäähdytyksen toimituskatkoja aiheuttavat laiterikot, varakapasiteetin puute sekä verkoston korjaukset.

Molemmat tilauksia voittavat tekijät liittyvät kustannuksiin. Voittavat tekijät olivat hinta ja investointikustannukset. Hinnalla tarkoitetaan kaukojäähdytyksen osalta energian hintoja sekä vuosittaisten kokonaiskustannusten muodostumisperiaatetta. Investointikustannukset kaukojäähdytyksessä tarkoittavat kiinteistöön tehtävien muutoksien aiheuttamien kustannuksien suuruutta.

6.3 Nykyisen suoritustason arviointi

Pori Energia Oy:n kaukojäähdytysverkon laajuus kattaa vain murto-osan keskustan kiinteistöistä. Kaukojäähdytyksen saatavuus mainittiin toiseksi useimmiten, kun kysyttiin isännöitsijöiden keskuudesta estettä kaukojäähdytyksen harkinnalle. Suurimmaksi kilpaillevaksi ratkaisuksi keskustan kiinteistöjen jäähdytysmarkkinoilla voidaan laskea asunto-kohtaiset lämpöpumput. Lämpöpumput ovat nousseet suosioon niiden helppouden ja sijaintiriippumattomuuden vuoksi.

Saatavuuden osalta kaukojäähdytyksen osalta on selkeästi hyvin paljon kehitettävää. Verkkoa on saatava laajemmaksi ja samanaikaisesti voisi olla tarpeen tuoda keskitetyn kaukojäähdytyksen jakelun vierelle jokin kiinteistökohtainen jäähdytysratkaisu. Esimerkiksi aikaisemmin tarkasteltu kiinteistökohtaisella kompressorijäähdyttimellä tuotettu ratkaisu toimisi saatavuusvajeen paikkaamiseen kannattavasti. Tällöin kiinteistökohtaisesti tuotettavan jäähdytyksen piirissä olevan kiinteistön voisi liittää runkoverkon piiriin, kun verkkoa saadaan laajennettua riittävästi.

Isännöitsijät pitivät kokonaisuutta tarkkaillen kaukojäähdytyksen tiedotusta puutteellisena. Vastauksista löytyi jopa yksi isännöitsijä, joka ei ollut kuullut kaukojäähdytyksestä mitään. Tiedottamisen ja markkinoinnin laatu on aina sen mukaista, miten asiakas sen kokee. Kaukojäähdytyksen osalta myyntiä ja markkinointia on aktivoitava, jos valittu markkinatavoite eli markkinaosuuden kasvattaminen halutaan saavuttaa.

Kaukojäähdytystä pidetään isännöitsijöiden piirissä luotettavana jäähdytysratkaisuna. Yksikään puhelinhaastatteluun vastannut isännöitsijä ei pitänyt kaukojäähdytystä epäluotettavana. Luotettavuus kaukojäähdytyksen osalta tulee toimituskatkojen minimoimi-

sen kautta. Tavoitteena kaukojäähdytyksessä on luotettavuuden osalta tilanne, jossa välttämättä yksi laiterikko ei vielä tarkoittaisi välitöntä toimituskatkoa asiakkaiden suuntaan. Vaikka kaukojäähdytystä pidetään jo luotettavana jäähdytystapana, olisi luotettavuuden varmistamiseksi lisättävä tuotannon varakapasiteettia, eli investoida erillisiin, samassa verkossa toimiviin tuotantolaitteisiin.

Kaukojäähdytyksen kustannukset muodostuvat energiakustannuksista sekä jäähdytyksen kiinteistön sisäisen jakelun vaatimien putkistomuutoksien ja laitetarpeiden investointikustannuksista. Investointikulut ovat kaukojäähdytyksen osalta sinänsä haasteelliset, ettei energiayhtiö voi vaikuttaa niihin omalla toiminnallaan. Kiinteistökohtaisen jäähdytysjärjestelmän käyttöönotto tuo huomattavan suuria kustannuksia taloyhtiölle varsinkin, jos asennus suoritetaan itsenäisenä jälkiasennuksena, eikä esimerkiksi perusparannuksena suunnitellun linjasaneerauksen yhteydessä. Jälkiasennuskustannusten lisäksi isännöitsijäkyselystä ei saatu aineistoa vertailuun, sillä hintatiedon osalta oli havaittavissa selkeää epätietoisuutta.

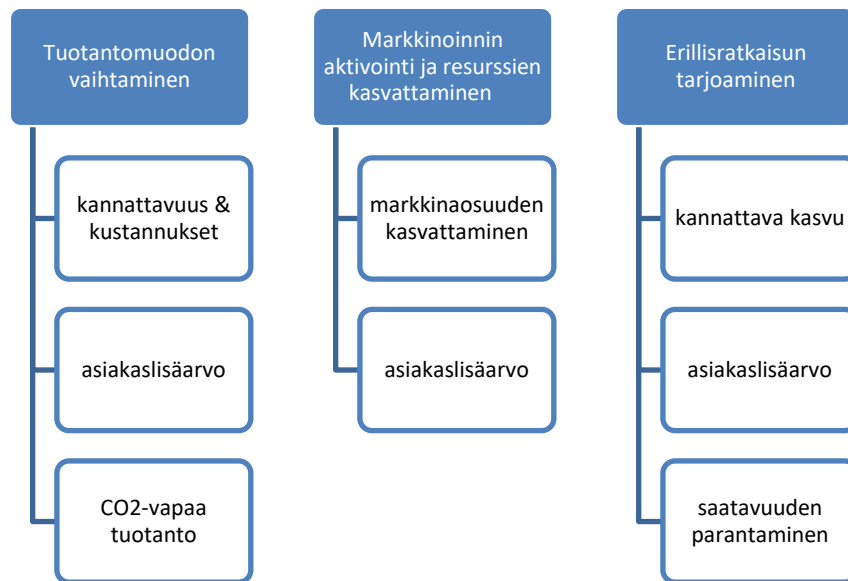
Investointikulujen sijaan kaukojäähdytyksen asemaa voidaan parantaa pitämällä energiakustannukset mahdollisimman alhaisena. Energian hinnan määrää suhteellisen suoraan kaukojäähdytyksen tuotantoon valitun ratkaisun tuotantokustannukset. Vaikuttamalla tuotantokustannuksiin, voidaan vaikuttaa asiakkaiden energian hintaan. Nykysuoritusallalla energia tuotetaan kompressoreilla, joten ratkaisuna kustannustilanteen parantamiseksi tulisi löytää tuotantokustannuksiltaan edullisempi tuotantomuoto.

6.4 Investoinnit ja niiden merkitys toiminnan kehittämisen kannalta

Pori Energia Oy:n yleisen liiketoimintastrategian ja kaukojäähdytyksen tuotantostrategian on oltava linjassa. Tulevia investointeja ja kehitysehdotuksia on siis tarkasteltava myös peilaten niitä liiketoimintastrategiaan ja sen asettamiin ehtoihin. Liiketoimintastrategia asettaa tavoitteiksi seuraavia asioita:

- kannattavuus
- kannattava kasvu
- asiakaslisäarvo
- CO₂-vapaa tuotanto

Suoritustason arvioinnissa todettiin oleellisimmiksi kehityskohteiksi kaukojäähdytyksen osalta saatavuus, hinta ja tiedottaminen. Seuraavaksi pyrittiin luomaan strategisia kehitystoimenpiteitä, jotka täyttäisivät sekä liiketoimintastrategian asettamat vaatimukset, että parantaisivat yrityksen toimintaa työssä havaittujen kehityskohteiden osalta. Kehitysehdotukset, niiden tuomia etuja sekä niiden suhde liiketoimintastrategian vaatimuksiin on esitelty kuvassa 23.



Kuva 23. Strategisten kehitysehdotusten yhtenevyys liiketoimintastrategian vaatimuksiin.

Tuotantomuodon vaihtamisella pyritään vähentämään vain sähköä primäärilähteenään käyttävien kompressorien hyödyntämistä. Pohjavesienergiaan pohjautuvan tuotannon hyödyntäminen näyttäytyi työn aikaisten tulosten pohjalta mahdollisena, joten tuotantoa tulisi siirtää sen suuntaan mahdollisimman paljon. Pohjavesienergiaan pohjautuvat ratkaisut ovat arviolta kustannuksiltaan pienemmät, joten tuotantotavan vaihtaminen parantaa näin kannattavuutta ja jos toteutuneet tuotantokustannukset saadaan riittävän mataliksi, voidaan myös asiakkaan energiahintaa laskea, jolloin asiakaslisäarvoa luodaan huomattavasti. Pohjavesienergia on ympäristön kannalta huomattavasti parempi pienemmän sähkönkulutuksensa ansiosta eli se tukee myös liiketoiminnan tavoitetta saavuttaa CO₂-vapaa tuotanto. Pohjavesienergian hyödyntäminen tarjoaa myös markkinoinnille selkeän uuden mahdollisuuden tuoda esiin kaukojäähdytyksen ympäristöystävällisyyttä konkreettisten esimerkkien avulla. Pohjavesienergian hyödyntämiseen sopii parhaiten aikaisemmin esitelty sijainti 2 eli Radanvarren toimipiste.

Markkinoinnin aktivointi ja resurssien kasvattaminen vastaavat paikallisesti havaittuun tiedottamisen puutteeseen. Asiakkaiden on tiedettävä kaukojäähdytyksestä, jos markkinaosuutta aiotaan kasvattaa huomattavasti. Markkinoinnin avulla tiedonpuute pystytään korjaamaan ja tuomaan kaukojäähdytystä paremmin esille potentiaalisille asiakkaille. Tiedottaminen kaukojäähdytyksestä on myös asiakaslisäarvoa tuova toimintaa. Asiakkaan on helpompi tehdä oikeaan informaatioon perustuva päätös jäähdytysratkaisusta, kun kaukojäähdytykseen liittyvä tiedonpuute on korjattu. Väärät tiedot jäähdytysratkaisuja vertaillessa saattavat aiheuttaa asiakkaille turhaan kalliita investointeja.

Erillisratkaisuiden tarjoamisella pyritään poistamaan kaukojäähdytykseen liittyvää suurta ongelmaa, saatavuutta. Saatavuus johtuu verkon laajuudesta, joka taas on Porin keskus-

tassa melko pieni. Kaukojäähdytysverkosto ylettyy vain pienelle alueelle keskustassa, joten saatavuuden parantamiseksi on keksittävä muutakin, kuin verkoston laajentaminen uusien asiakkaiden avulla. Kiinteistökohtaisesti tuotettua jäähdytysenergiaa voidaan jakaa kiinteistöihin samalla tavalla välillisesti, kuin keskitettyä kaukojäähdytystäkin. Näin ollen erillISRatkaisuita voitaisiin tarjota keskustan alueella. ErillISRatkaisuita hyödyntävät kiinteistöt voitaisiin liittää kaukojäähdytysverkostoon, kun verkosto laajentuu riittävän lähelle kohdetta ja liittäminen on taloudellisesti kannattavaa. Työssä suoritetuissa taloustarkasteluissa tarkastellut tuotantotavat näyttäytyivät alkuperäisillä lähtöarvoilla kannattamattomilta, joten päätettäväksi asian suhteen jää, ollaanko erillISRatkaisujen tarjoamisen mahdollistamiseksi valmiita laskemaan tuottovaatimusta. ErillISRatkaisujen tarjoaminen tukee yrityksen liiketoimintastrategian tavoitteista kannattavaa kasvua ja tuottaa asiakaslisäarvoa sekä vastaa havaittuun ongelmaan parantamalla saatavuutta myös runkoverkon ulkopuolelle.

7. YHTEENVETO

Tämän diplomityön tarkoituksena oli muodostaa kaukojäähdytyksen tuotantostrategia. Tuotantostrategian luomisen tueksi tehtiin puhelinhaastattelun muodossa tiedonkeruuta markkinoiden ja kohdeasiakkaiden tilanteesta. Haastattelujen tarkoituksena oli löytää tärkeimpiä markkinoiden asettamia strategisia tekijöitä, jotka vaikuttavat kaukojäähdytyksen menestykseen. Haastattelujen lisäksi markkinatilannetta ja asiakkaiden suhtautumista kaukojäähdytykseen selvitettiin tarkastelemalla aikaisemmin tehtyjä haastatteluja sekä arvioita aiheeseen liittyen.

Työssä suurimmat haasteet aiheuttivat varsinaisen tavoitteen määrittely ja sen rajaaminen, sillä kaukojäähdytyksen tuotantostrategia aiheena sisältää laajan kokonaisuuden. Työstä jouduttiin rajaamaan alussa suunniteltuja aiheita pois ja vastapainona sisältöön tuli aiheita, joita ei alkuperäisessä suunnitelmassa ollut kirjattuna. Simulointiin pohjautuvan reaaliopintimoinnin puute vei työn päätutkimuskysymyksen strategisten ominaisuuksien suuntaan:

- Mitkä ovat markkinoiden asettamat kaukojäähdytyksen tuotantoon liittyvät keskeiset strategiset ominaisuudet?

Jäähdytysmarkkinoita tarkasteltiin aikaisemmin tuotetun sekä itse haastatteluilla kerätyn aineiston perusteella. Aikaisemmin tuotetun materiaalin perusteella markkinoilla on vielä huomattava määrä lunastamatonta potentiaalia. Varsinkin keskustan liikekeskusten ja uudisrakennuksien osalta on mahdollista kasvattaa ja vahvistaa kaukojäähdytyksen asemaa. Sairaala- ja kiinteistöjenkin osalta on vielä mahdollista kasvattaa myyntiä. Tilastojen mukaan jäähdytysmarkkinat kasvavat jatkuvasti uuden rakentamisen sekä ilmasto-olosuhteiden muuttumisen myötä. Asiakashaastatteluiden perusteella kiinteistöjä on Porin keskustassa todella vähän jäähdytyksen piirissä ja samanaikaisesti on huomattu kasvavaa tarvetta jäähdytykselle. Markkinoilla olisi siis tarkastelujen perusteella tilaa kasvuun. Asiakashaastatteluiden perusteella kaukojäähdytyksellä on kuitenkin omat haasteensa, varsinkin vanhempien kerrostalojen liittymisen kustannuksien osalta sekä nykyisen saatavuuden kanssa.

Työn aikana suoritettujen haastattelujen sekä aikaisemmin tuotetun materiaalin pohjalta pyrittiin löytämään vastaus päätutkimuskysymykseen. Aineistojen pohjalta tärkeimmiksi strategisiksi ominaisuuksiksi määriteltiin luotettavuus, saatavuus, hinta, investointikustannukset ja markkinointi.

Strategisten ominaisuuksien löytämisen jälkeen käytiin läpi, mitä ne yksityiskohtaisemmin tarkoittavat valituilla markkinoilla. Pyrittiin siis purkamaan geneeriset ominaisuudet

tarkemmin markkinoiden vaatimuksia vastaaviksi kehitysalueiksi ja investoinneiksi. Tämän jälkeen yrityksen oman toiminnan suoriutumista tunnistetuilla alueilla arvioitiin ja pyrittiin löytämään kehityskohteita ja niiden kautta strategisia kehitysehdotuksia.

Kehitysehdotuksien tulisi vastata havaittuja strategisia ominaisuuksia sekä edistää yrityksen liiketoimintastrategian asettamia tavoitteista. Toiminnan kehittämiseksi ehdotettiin tuotantotavan vaihtoa, markkinoinnin aktivointia ja resurssien kasvattamista sekä erillISRatkaisun tarjoamista.

Työssä suoritetuissa taloustarkasteluissa huomattiin, ettei kompressoripohjainen jäähdytyksen tuottaminen ole linjassa liiketoimintastrategian kanssa ja ettei se ole tuotantokustannuksiltaan kannattavin tapa jäähdytyksen tuotantoon, näin olleen kehitystoimenpiteeksi muodostui tuotantotavan vaihtaminen. Tuotantotavan vaihtamista tukivat myös pohjavesienergiaa hyödyntävään ratkaisuun siirtymisen tuomat muut edut, kuten CO₂-päästöjen vähäisyys ja uusiutuvuus.

Markkinoinnin aktivoinnin tarve huomattiin puhelinhaastattelujen tuloksia tutkiessa. Yli puolet vastaajista totesi, kaukojäähdytykseen liittyvän markkinoinnin olleen ainakin hie-man vajavaista. Markkinoinnin kehittäminen ja resurssien kasvattaminen muodostuivat selkeäksi kehitysehdotukseksi.

Kolmanneksi kehitysehdotukseksi todettiin erillISRatkaisun tarjoaminen. Haastattelujen sekä aineiston pohjalta havaittiin, että saatavuus on suurin kaukojäähdytyksen toimintaa rajoittava tekijä. Saatavuuden parantamiseksi ei kaukojäähdytyksen osalta voi käytännössä tehdä muuta, kuin laajentaa verkkoa tai tarjota erillISRatkaisuja. Työssä suoritetuissa taloustarkasteluissa tutkitut tuotantotavat eivät kuitenkaan olleet nykyisillä tuottovaatimuksilla kannattavuusrajan yläpuolella.

Jatkotutkimuskohteiksi työstä jäävät pohjavesijäähdytyksen toimivuuden varmistaminen ja käyttöönotto, erillISRatkaisun hintatasojen seuraaminen ja tuottovaatimusten lisätarkastelut sekä markkinointiin ja viestintään liittyvän kehityssuunnitelman luominen ja toteuttaminen.

LÄHTEET

- Airaksinen, M., Vainio, T., Vesanen, T., & Ala-Kotila, P. (2015). *Rakennusten jäähdytysmarkkinat*. Espoo. Retrieved from https://energia.fi/files/399/Rakennusten_jaahdytysmarkkinat_18-12-2015.pdf
- Aittomäki, A., & Aalto, E. (2012). *Kylmätekniikka*. Helsinki: Suomen kylmäyhdistys. Retrieved from https://melinda.kansalliskirjasto.fi/F/?func=direct&doc_number=006060488&local_base=fin01_opac
- Al-zubaydi A. Y. (2011). Solar Air Conditioning and Refrigeration with Absorption Chillers Technology in Australia – An Overview on Researches and Applications. *Journal of Advanced Science and Engineering Research*, 1, 23–41.
- Arola, T., & Isa, W. (2018). *Pohjavesienergian hyödyntämisen esiselvitys Porin keskustan alueella*. Pori.
- Chow, T. T., Fong, K. F., Chan, A. L. S., Yau, R., Au, W. H., & Cheng, V. (2004). Energy modelling of district cooling system for new urban development. *Energy and Buildings*, 36(11), 1153–1162. Retrieved from https://ac-els-cdn-com.libproxy.tut.fi/S0378778804001410/1-s2.0-S0378778804001410-main.pdf?_tid=1d7d7178-acc2-4ae3-96ea-9ed337323bdb&acdnat=1542366344_c4db75be58f2d51e3781c5c9fa3fa4a7
- Dalin, P., & Rubenhag, A. (2006). *The European Cold Market*. Belgium. Retrieved from https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/ecoheatcool_the_european_cold_market_final_report.pdf
- Demir, H., Mobedi, M., & Ülkü, S. (2008). A review on adsorption heat pump: Problems and solutions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(9), 2381–2403. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.06.005>
- Energiatollisuus ry. (2016, February 23). Kaukojäähdytyksellä on potentiaalia. *Energiauutiset*. Retrieved from <https://www.energiiauutiset.fi/uutiskirje/uutiset/kaukojaahdytyksella-on-potentiaalia.html>
- Energiatollisuus ry. (2017, May 4). Jäätävää kasvua. *Energiauutiset*. Retrieved from <https://www.energiiauutiset.fi/kaukolampo/jaatavaa-kasvua.html>
- Faraji, A. Y., Goldsmid, H. j., & Akbarzadeh, A. (2014). Experimental study of a thermoelectrically-driven liquid chiller in terms of COP and cooling down period. *Energy Conversion and Management*, 77, 340–348. <https://doi.org/https://doi-org.libproxy.tuni.fi/10.1016/j.enconman.2013.09.047>
- Gorse, C., Johnston, D., & Pritchard, M. (2013). *A Dictionary of Construction, Surveying and Civil Engineering* (2013th ed.). Oxford: Oxford University Press. Retrieved

from

<http://www.oxfordreference.com.libproxy.tut.fi/view/10.1093/acref/9780199534463.001.0001/acref-9780199534463-e-2780?rskey=gURCJi&result=2772>

Grönroos, C., & Tillman, M. (2009). *Palvelujen johtaminen ja markkinointi. Service management and marketing: customer management in service competition.* Helsinki : WSOYpro. Retrieved from http://linda.linneanet.fi/F/?func=direct&doc_number=005838788&local_base=fin01

Heikkilä, J., & Ketokivi, M. (2013). *Tuotanto murroksessa : strategisen johtamisen uusi haaste.* Helsinki : Talentum. Retrieved from https://melinda.kansalliskirjasto.fi/F/?func=direct&doc_number=011591436&local_base=fin01_opac

Helen Oy. (2015). HELENILLE ENERGIA-ALAN OSCAR-PALKINTO. Retrieved May 7, 2019, from <https://www.helen.fi/uutiset/2015/helenille-energia-alan-oscar-palkinto/>

Hendry, L. C. (2010). Product customisation: an empirical study of competitive advantage and repeat business. *International Journal of Production Research*, 48(13), 3845–3865. <https://doi.org/10.1080/00207540902946579>

Hill, T., & Hill, A. (2017). *Operations strategy: design, implementation and delivery.* Retrieved from https://melinda.kansalliskirjasto.fi/F/?func=direct&doc_number=013740757&local_base=fin01_opac

Holopainen, R., Vares, S., Ritola, J., & Pulakka, S. (2010). *Maalämmön ja -viilennyksen hyödyntäminen asuinkeuhkoston lämmityksessä ja jäähdytyksessä.* Espoo: VTT. Retrieved from <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2546.pdf>

Huhdanmäki, J. (2017). *Kaukojäähdytys v. 2017.* Retrieved from https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/kaukojaahdytystilasto.html

Johnson, G., Whittington, R., Scholes, K., Angwin, D., & Regner, P. (2014). *Exploring strategy.* Retrieved from https://melinda.kansalliskirjasto.fi/F/?func=direct&doc_number=006515839&local_base=fin01_opac

Kauppila, K. (2018). *ATES-Jäähdytys/Lämmitysjärjestelmän Alustava Hankeselvitys.*

Kierulff, H. (2017). MIRR: A better measure. *Computers & Chemical Engineering*, 106, 406. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2008.02.005>

Kiinteistöjen jäähdytystarpeet tulevaisuudessa - Pro Cooling Future: Finland. (2013).

Koljonen, T., & Sipilä, K. (1998). *Uudemman absorptiojäähdytystekniikan soveltaminen kaukojäähdytyksessä.* Espoo. Retrieved from <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1998/T1926.pdf>

- Koskelainen, L., Nuorkivi, A., Saarela, R., & Sipilä, K. (2006). *Kaukolämmön käsikirja*. Helsinki: Libris.
- Kuivala, J.-P. (2012). *Kaukojäähdytyksen esisuunnittelu Porin alueelle*.
- Kuivala, J.-P., & Lehdonvirta, H. (2011). *Kaukojäähdytyksen toteutettavuusselvitys Porin kaupunginsairaalan alueelle ja alustava liiketoimintasuunnitelma laajemmin Porin alueelle*.
- Laitinen, A., Rämä, M., & Airaksinen, M. (2016). *Jäähdytyksen teknologiset ratkaisut*. Espoo. Retrieved from https://energia.fi/files/1359/Jaahdytysteknologiaselvitys_VTT_221216.pdf
- Logistiikan Maailma. (2018). Tuotanto. Retrieved November 22, 2018, from <http://www.logistiikanmaailma.fi/logistiikka/tuotanto/>
- Lund, H., Thorsen, J. E., Svendsen, S., Werner, S., Hvelplund, F., Mathiesen, B. V., & Wiltshire, R. (2014). 4th Generation District Heating (4GDH). *Energy*, 68, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.089>
- Metsämuuronen, J. (2008). *Laadullisen tutkimuksen perusteet*. Helsinki : International Methelp. Retrieved from https://melinda.kansalliskirjasto.fi/F/?func=direct&doc_number=004119191&local_base=fin01_opac
- Nydal, R., & Muuronen, M. (2008). *Käytännön kylmätekniikka* (3. painos). Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy. Retrieved from https://melinda.kansalliskirjasto.fi/F/?func=direct&doc_number=000531749&local_base=fin01_opac
- Olkkonen, T. (1994). *Johdatus teollisuustalouden tutkimustyöhön*. Otaniemi : Teknillinen korkeakoulu. Retrieved from https://melinda.kansalliskirjasto.fi/F/?func=direct&doc_number=006520671&local_base=fin01_opac
- Pori Energia Oy. (2018). Kaukojäähdytys. Retrieved October 31, 2018, from <https://www.porienergia.fi/Tuotteet-ja-palvelut/Kaukolampo/Kaukojaahdytys1/#.W9laBZMzZPY>
- Rakkolainen, J. (2018a). Jakelu | Kaukolämpöekstra. Retrieved December 5, 2018, from <https://kaukolampoekstra.fi/kaukojaahdytys/jakelu>
- Rakkolainen, J. (2018b). Yleistä kaukojäähdytyksestä. Retrieved November 9, 2018, from <https://kaukolampoekstra.fi/kaukojaahdytys/yleista-kaukojaahdytyksesta>
- Saastamoinen, H., & Paiho, S. (2018). Prospects for absorption chillers in Finnish energy systems. *Energy Procedia*, 149, 307–316. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.194>
- Sagebrand, U., Zinko, H., & Walletun, H. (2015). *Värmedriven komfortkyla för mindre anläggningar*.

- Satosalmi, J.-M., & Malinen, L. (2014). *Kaukojäähdytyksen laajentamisen teknistaloudellinen tarkastelu*. Lahti.
- Skagestad, B., & Mildenstein, P. (2002). *District Heating and Cooling Connection Handbook*. Retrieved from http://old.iea-dhc.org/Annex_VI/annex_vi_S6_DHC_Handbook.pdf
- Slack, N., & Lewis, M. (2017). *Operations strategy*. Retrieved from https://melinda.kansalliskirjasto.fi/F/?func=direct&doc_number=011421842&local_base=fin01_opac
- Spring, M., & Boaden, R. (1997). "One more time: how do you win orders?": a critical reappraisal of the Hill manufacturing strategy framework. *International Journal of Operations & Production Management*, 17(8), 26. <https://doi.org/10.1108/01443579710175547>
- VALOR Partners Oy. (2016). *Suuret lämpöpumput kaukolämpöjärjestelmässä*. Retrieved from https://energia.fi/files/993/Suuret_lampopumput_kaukolampojarjestelmassa_Loppuraportti_290816_paivitetty.pdf
- Wang, D., Hu, L., Liu, Y., & Liu, J. (2017). Performance of off-grid photovoltaic cooling system with two-stage energy storage combining battery and cold water tank. *Energy Procedia*, 132, 574–579. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217348968>
- Werner, S. (2017). International review of district heating and cooling. *Energy*, 137, 617–631. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.045>
- Ympäristöministeriö. (2011). *Jäähdytysjärjestelmien energianlaskentaopas*. Retrieved from [file:///C:/Users/olli.uhlbeck/Downloads/Jäähdytys_laskentaopas_12.9.2011-v2\(1\).pdf](file:///C:/Users/olli.uhlbeck/Downloads/Jaahdytys_laskentaopas_12.9.2011-v2(1).pdf)

LIITE A: ISÄNNÖITSIJÄKYSELY

Isännöitsijäkysely

Kyselyn tarkoituksena on kartoittaa isännöitsijöiden havaitsemia asioita ja mielipiteitä kiinteistöjen jäähdyttämisestä sekä kaukojäähdytyksestä. Kyselyn tuottamaa aineistoa hyödynnetään diplomityön aineistoksi.

Kysymykset

1. Isännöintitoimisto, jossa toimitte isännöitsijänä?
2. Hallitsemienne kiinteistöjen lukumäärä?
3. Oletteko tietoinen, että Pori Energia Oy tarjoaa osassa keskustan alueita kaukojäähdytystä?
4. Jäähdytetäänkö hallitsemianne kiinteistöjä/tiloja tällä hetkellä?
5. Millaisia jäähdytysratkaisuja teillä on tällä hetkellä käytössä?
6. Onko teillä ilmennyt tarvetta jäähdytykselle kiinteistöissä/tiloissa, joissa ei ole käytössä tällä hetkellä aktiivista jäähdytystä?
7. Suunnitteletteko jonkin jäähdytysjärjestelmän käyttöönottoa?
8. Minkä jäähdytysjärjestelmän käyttöönottoa suunnittelette?
9. Mitkä seikat ovat johtaneet kyseisen jäähdytysratkaisun valintaan?
10. Millä tasolla jäähdytyksen suunnittelu teidän hallitsemissanne kiinteistöissä on? (esimerkiksi: keskustelutasolla - 5-vuotissuunnitelmassa kirjattuna - tavoitteena investoida ja saada jäähdytys käyttöön mahdollisimman pian)
11. Oletteko kiinnostuneita ottamaan jonkin jäähdytysjärjestelmän käyttöön tulevaisuudessa?
12. Tiedättekö, että kiinteistönne/osa kiinteistöistänne sijaitsee alueella, jossa on tarjolla kaukojäähdytystä?
13. Oletteko harkinneet kaukojäähdytyksen käyttöönottoa?
14. Kiinteistöjänne ei sijaitse tällä hetkellä kaukojäähdytyksen runkoverkon tarjonnan alueella. Jos kiinteistöihin/tiloihinne olisi tarjolla kaukojäähdytystä, olisitteko kiinnostuneita keskustelemaan Pori energia Oy:n kanssa sen käyttöönotosta?
15. Onko teillä halukkuutta vastaanottaa tarjous kaukojäähdytyksestä Pori Energialta?
16. Minkä koette esteeksi kaukojäähdytyksen käyttöönotolle?
17. Mikä/mitkä seikat ovat vaikuttaneet siihen, että harkitsette muita jäähdytysjärjestelmiä, mutta ette kaukojäähdytystä?
18. Onko teillä käsitys kiinteistökohtaisen jäähdytyksen ja kaukojäähdytyksen kokonaiskustannusten eroavaisuuksista?
19. Onko kaukojäähdytyksen investointihinta ollut valinnan esteenä?
20. Onko kaukojäähdytyksen energiahinta ollut valinnan esteenä?
21. Onko hintatiedon puute kaukojäähdytyksestä ollut valinnan esteenä?
22. Pidätkö kaukojäähdytystä luotettavana tapana tuottaa jäähdytystä?
23. Mitä Pori Energia Oy voisi tehdä paremmin, jotta kaukojäähdytys näyttäytyisi varteenotettavana jäähdytysratkaisuna?
24. Onko Pori Energia Oy:n tiedottaminen kaukojäähdytyksen tarjonnasta ollut mielestänne riittävää?

LIITE B: VESINÄYTTEIDEN TUTKIMUSTULOKSET



TUTKIMUSTODISTUS

Tilaus: 1900608
Pvm: 19.2.2019

1(9)

Geologian Tutkimuskeskus GTK
Teppo Arola
PL 96
02151 Espoo



Tilauksen nimi: Vesi, Porin Energia

Näytetunnus		19VN 0282					
Näytteen nimi		PVP1					
Näytteen saapumispäivä		12.02.2019					
Näytteen aloituspäivä		12.02.2019					
Näytteen valmistuspäivä		19.02.2019					
Määrittelykset							
Öljypitoisuus (C10–C21)	mg/l	< 0,05				SFS-EN ISO 9377-2 mod.*	
Öljypitoisuus (C21–C40)	mg/l	< 0,05				SFS-EN ISO 9377-2 mod.*	
Öljypitoisuus (C10–C40)	mg/l	< 0,05				SFS-EN ISO 9377-2 mod.*	
Öljypitoisuus, summa (C5–C40)	mg/l	< 0,05				SFS-EN ISO 9377-2 mod.	
C5–C10	mg/l	< 0,05				Sis. men 040 GC- MS	
Bentseeni	µg/l	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*	
Tolueeni	µg/l	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*	
Ksyleeni	µg/l	< 0,5				ISO 20595:2018 mod.*	

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydettyäessä.

SYNLAB Analytics & Services
Finland Oy
www.synlab.fi

puh +358 9 2252 860
Lepolantie 9
FI-03800 Karkkila
Finland

Pankki
Länsi-Uudenmaan Op
Karkkila
FI43 5297 2820 0007 16

Y-tunnus 0733227-8
Kotipaikka Karkkila
Alv.rek.

Geologian Tutkimuskeskus GTK
Teppo Arola
PL 96
02151 Espoo

Tilauksen nimi: Vesi, Porin Energia

		19VN 0282 PVP1						
Etylibentseeni	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*	
1,2-dikloorietaani	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*	
1,2-dibromietaani	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*	
1,1,2-trikloorietaani	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*	
1,1-dikloorieteeni	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*	
1,2-diklooripropaani	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*	
2,2-diklooripropaani	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*	
1,4-diklooribentseeni	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*	
1,1-dikloorietaani	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*	
Dikloorimetaani	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*	

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydettyäessä.

Geologian Tutkimuskeskus GTK
Teppo Arola
PL 96
02151 Espoo

Tilauksen nimi: Vesi, Porin Energia

19VN
0282
PVP1

Trikloorieteeni	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
Klooribentseeni	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
Bromoformi	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
Hiilitetrakloridi	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
1,2,3-triklooribentseeni	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
1,2,4-triklooribentseeni	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
1,1,1-trikloorietaani	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
Isopropyylibentseeni	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
1,3,5-trimetyylibentseeni	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
Sec-butyylibentseeni	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydettyäessä.

Geologian Tutkimuskeskus GTK
Teppo Arola
PL 96
02151 Espoo

Tilauksen nimi: Vesi, Porin Energia

19VN
0282
PVP1

1,2,4-trimetyylibentseeni	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
n-butyylibentseeni	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
P-isopropyylitolueeni	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
Bromobentseeni	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
Bromodikloorimetaani	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
Tert-butyylibentseeni	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
1,2-dibromo-3-klooripropaani	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
1,2-diklooribentseeni	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
1,3-diklooribentseeni	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
Trans-1,3-diklooripropenei	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydettyäessä.

Geologian Tutkimuskeskus GTK
Teppo Arola
PL 96
02151 Espoo

Tilauksen nimi: Vesi, Porin Energia

19VN
0282
PVP1

N-propyylibentseeni	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
Styreeni	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
1,1,1,2-tetrakloorietaani	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
1,2-dikloorieteeni	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
1,1-diklooripropenei	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
Cis-1,3-diklooripropenei	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
Tetrakloorieteeni	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
Dibromikloorimetaani	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
Naftaleeni	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
Heksaklooributadieeni	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydetäessä.

Geologian Tutkimuskeskus GTK
Teppo Arola
PL 96
02151 Espoo

Tilauksen nimi: Vesi, Porin Energia

19VN 0282 PVP1							
1,3-diklooripropaani	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
Trikloorifluorimetaani	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
Kloroformi	µg/l	0,82					ISO 20595:2018 mod.*
1,1,2,2-tetrakloorietaani	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
4-klooritolueeni	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
2-klooritolueeni	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
Vinyylikloridi	µg/l	< 0,5					ISO 20595:2018 mod.*
Arseeni, kokonais (As)	µg/l	0,96					SFS-EN ISO 17294- 2:2016, mod.*
Kadmium, kokonais (Cd)	µg/l	< 0,10					SFS-EN ISO 17294- 2:2016, mod.*

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydetäessä.

Geologian Tutkimuskeskus GTK
Teppo Arola
PL 96
02151 Espoo

Tilauksen nimi: Vesi, Porin Energia

		19VN 0282 PVP1						
Koboltti, kokonais (Co)	µg/l	0,37					SFS-EN ISO 17294- 2:2016, mod.*	
Kromi, kokonais (Cr)	µg/l	0,33					SFS-EN ISO 17294- 2:2016, mod.*	
Kupari, kokonais (Cu)	µg/l	3,8					SFS-EN ISO 17294- 2:2016, mod.*	
Rauta, kokonais (Fe)	µg/l	210					SFS-EN ISO 17294- 2:2016, mod.*	
Elohopea, kokonais (Hg)	µg/l	< 0,10					SFS-EN ISO 17294- 2:2016, mod.*	
Mangaani, kokonais (Mn)	µg/l	840					SFS-EN ISO 17294- 2:2016, mod.*	
Nikkeli, kokonais (Ni)	µg/l	2,9					SFS-EN ISO 17294- 2:2016, mod.*	
Lyijy, kokonais (Pb)	µg/l	0,39					SFS-EN ISO 17294- 2:2016, mod.*	

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydettyäessä.

Geologian Tutkimuskeskus GTK
Teppo Arola
PL 96
02151 Espoo

Tilauksen nimi: Vesi, Porin Energia

		19VN 0282 PVP1					
Antimoni, kokonais (Sb)	µg/l	< 0,10				SFS-EN ISO 17294- 2:2016, mod.*	
Vanadiini, kokonais (V)	µg/l	2,3				SFS-EN ISO 17294- 2:2016, mod.*	
Sinkki, kokonais (Zn)	µg/l	2,4				SFS-EN ISO 17294- 2:2016, mod.*	
Rauta, liukoinen (Fe)	µg/l	140				SFS-EN ISO 17294- 2:2016, mod.*	
Mangaani, liukoinen (Mn)	µg/l	820				SFS-EN ISO 17294- 2:2016, mod.*	
Kloridi (Cl-)	mg/l	74				SFS-EN ISO 10304- 1:2009*	

SYNLAB Analytics & Services Finland Oy



Jarkko Kupari
Kemisti

Tämä tutkimustodistus on allekirjoitettu sähköisesti.

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydettäessä.

SYNLAB Analytics & Services
Finland Oy
www.synlab.fi

puh +358 9 2252 860
Lepolantie 9
FI-03600 Karkkila
Finland

Pankki
Länsi-Uudenmaan Op
Karkkila
FI43 5297 2820 0007 16

Y-tunnus 0733227-8
Kotipaikka Karkkila
Alv.rek.

Geologian Tutkimuskeskus GTK
Teppo Arola
PL 96
02151 Espoo

Tilauksen nimi: Vesi, Porin Energia

Tuloksia koskevat tiedustelut

Vesikemia ja Martina Metzler, Kemisti, puh. +358 43 850 1146,
metallianalytiikka martina.metzler@synlab.com
Ympäristöanalytiikka Jarkko Kupari, Kemisti, puh. +358 50 464 7345,
jarkko.kupari@synlab.com

Lisätiedot Vesinäytteelle hiilivetytulosten mittausepävarmuus: 0,05-0,2 mg/l \pm 50 %, 0,2-0,5 mg/l \pm 30 % ja yli 0,5 mg/l \pm 20 %.

Talous- ja luonnonvesinäytteelle yksittäisten bensiinihiilivetyjen mittausepävarmuus: 0,5 - 1,0 μ g/l \pm 40 %, 1,1 - 500 μ g/l \pm 35 % ja yli 500 μ g/l \pm 25 %.

Talous- ja luonnonvesinäytteelle metallianalyysin (ICP-MS) mittausepävarmuusarvio: As \pm 17 %, Cd \pm 13 %, Co \pm 19 %, Cr \pm 22 %, Cu \pm 16 %, Hg \pm 23 %, Ni \pm 15 %, Pb \pm 25 %, Sb \pm 20 %, V \pm 21 % ja Zn \pm 25 %.

Jakelu Teppo Arola, teppo.arola@gtk.fi

*Akkreditoitu menetelmä. Akkreditointi ei koske lausuntoa. Tulokset pätevät vain testatuille näytteille. Raporttia ei saa kopioida osittain ilman testauslaboratorion lupaa. Analyysien mittausepävarmuudet ovat saatavilla pyydettyäessä.

SYNLAB Analytics & Services
Finland Oy
www.synlab.fi

puh +358 9 2252 860
Lepolantie 9
FI-03600 Karkkila
Finland

Pankki
Länsi-Uudenmaan Op
Karkkila
FI43 5297 2820 0007 16

Y-tunnus 0733227-8
Kotipaikka Karkkila
Alv.rek.